

Sobre el estado del arte en el sensoramiento satelital utilizado para el monitoreo de variables meteorológicas sobre la superficie oceánica

Nota Técnica SMN 2022-128

Matias De Oto, Yanina García Skabar y Luciano Vidal

Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios

Agosto 2022

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

En esta Nota Técnica se recopila toda aquella información inherente al viento cerca de la superficie oceánica, olas y altura del nivel del mar que se obtienen únicamente a través del sensoramiento satelital. Se realiza una descripción de cuál es el instrumental diseñado para la adquisición de dichas variables y se explica brevemente cómo es su funcionamiento. Se brindan algunas de las plataformas web de fácil acceso en donde estas variables pueden visualizarse de modo interactivo y en algunos casos descargarse. Además, se recopilan todas aquellas misiones satelitales activas y con proyección futura involucradas en la recuperación de las variables mencionadas. Finalmente, se informa de aquellos sitios activos en donde es posible descargar los archivos de forma operativa, se estudia su contenido y cómo es posible su tratamiento, particularmente sobre el Mar Argentino y el océano adyacente.

Abstract

This Technical Note compiles meteorological data information related to surface ocean wind, waves and sea surface height obtained through satellite sensing only. A description of the instrumentation designed for the acquisition of these variables and a brief explanation of how it works is given. We provide some of the easily accessible web platforms where these variables can be viewed interactively and in some cases downloaded. In addition, a survey of active and future satellite missions involved in the collection of the above-mentioned variables is included. Finally, we inform about those active sites where it is possible to download the files in an operative way, discuss their content file information and how it is possible to process them, particularly on the Argentine Continental Shelf and adjacent seas.

Palabras clave: información satelital, viento, altura del nivel del mar, olas.

Citar como:

De Oto, M., Y. García Skabar y L. Vidal, 2022: Sobre el estado del arte en el sensoramiento satelital utilizado para el monitoreo de variables meteorológicas sobre la superficie oceánica. Nota Técnica SMN 2022-128

1. INTRODUCCIÓN

Una importante cantidad de energía desde la atmósfera hacia el océano es canalizada por el esfuerzo del viento sobre la interfaz. A raíz de esto, se produce una deformación de la superficie oceánica que involucra distintas escalas temporales, desde las olas, luego pasando por ondas de tormenta, hasta la deformación de gran escala de la altura del nivel del mar (Villas Bôas y otros, 2019). Estos procesos ocurren de forma constante sobre el océano, sin embargo existen episodios, no necesariamente de índole extrema, que ponen en riesgo las actividades humanas en materia de seguridad costera y marítima. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), tanto el viento en superficie como las olas son consideradas variables meteorológicas y respecta a los servicios meteorológicos encargarse de monitorearlas y de realizar los pronósticos marítimos pertinentes (OMM-N°471, 2018; OMM-N° 702, 2018). Por otra parte, cuando estos episodios son de índole extrema pueden afectar la biodiversidad marina, que por consiguiente, tienen un impacto en las actividades económicas afines (Sainsbury y otros, 2018) y en las personas que las llevan a cabo (Chen y otros, 2021). En tal sentido, el correcto uso de estas variables meteorológicas sobre el océano permitiría elevar el nivel de seguridad marina y permitir una mayor organización y planificación de las actividades económicas relacionadas. No obstante, mantener un registro activo de las variables meteorológicas sobre el océano es sumamente costoso y no se obtiene una descripción adecuada de la circulación atmosférica (ESA, 1996). Bajo estas circunstancias, adquiere mayor relevancia la utilización de información satelital.

Hoy en día se cuenta con una gran oferta de información satelital en tiempo casi real de variables tales como el viento en superficie, la temperatura superficial del mar y la altura del nivel del mar incluyendo las olas. La recuperación satelital de estas variables se encuentra estrechamente vinculada debido a la relación que existe entre el flujo atmosférico superficial y la rugosidad oceánica (ver Hong y otros, 2013 y referencias allí citadas). En las últimas décadas, el aumento del muestreo sobre áreas oceánicas por parte de las misiones satelitales sumado a una mayor sofisticación de los métodos de asimilación se vió reflejado en mejoras de los modelos globales atmosféricos, en particular sobre el Hemisferio Sur (Simmons y otros, 2001). Este aumento no sólo se observó en los modelos de rango medio sino también en los de largo plazo (Kallberg, 1997). A su vez, las recuperaciones satelitales oceánicas en forma continua permitieron el desarrollo operativo de los pronósticos globales oceánicos de corto y largo plazo, que luego también sirven para retroalimentar a los modelos atmosféricos (IAT, 2021 y referencias allí citadas). Sin embargo, se observa que a medida que la escala espacial disminuye, los aspectos geomorfológicos locales como la línea de costa, influyen negativamente en el desempeño de las recuperaciones satelitales (Tang y otros, 2004; Yang y otros, 2014; Passaro y otros, 2015). Esto último requiere un mayor esfuerzo destinado en investigaciones locales que logren aportar mayor evidencia a dicha problemática para su posterior tratamiento. Cualquiera sea el uso de las recuperaciones satelitales, estas dependen en última instancia de su verificación y/o posterior calibración mediante boyas ó mediciones in-situ (Stopa y Mouche, 2016; Arduin y otros, 2019).

En esta Nota Técnica se busca recopilar toda aquella información sobre las misiones satelitales destinadas al monitoreo de variables meteorológicas sobre la superficie oceánica y sus respectivas bases de datos, incluyendo los productos potencialmente aprovechables sobre la Plataforma Continental Argentina, delimitada por la profundidad (isobata) de 200 metros, y el océano adyacente. Más aún, el objetivo de largo plazo es lograr mantener vigente un compendio de información satelital que pueda utilizarse operativamente como complemento de los modelos de pronóstico regionales. La presente Nota Técnica se ha basado en los lineamientos presentados en la Nota Técnica de Rodríguez y Vidal (2021), particularmente como un complemento oceánico enfocado en las variables de interés mencionadas.

2. ADQUISICIÓN DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS Y TIPOS DE SENSORES

La obtención remota de las variables meteorológicas se realizan mediante instrumentos del tipo pasivo y del tipo activo. Los del tipo pasivo sensan la radiación en distintas regiones del espectro electromagnético, que es únicamente emitida o reflejada por la Tierra. Los del tipo activo, en cambio, emiten radiación electromagnética hacia la Tierra y luego de la absorción, reflexión y dispersión reciben una pequeña fracción de la que han emitido. Para que esta pequeña fracción de radiación sea legible se requiere de un elevado gasto energético y de sensores más sofisticados y sensibles, que a su vez requieren montarse sobre satélites de gran tamaño. Desde que los sensores sensan la radiación hasta que se obtienen las variables meteorológicas existe una serie de procesamientos, comúnmente denominados niveles. Los productos de Nivel 1 (L1) contienen parámetros físicos, i.e. radiancias espectrales, medidos directamente por los sensores. Mientras que los productos de Nivel 2 (L2) realizan la reconversión de los parámetros físicos a los geofísicos, como la intensidad de viento, las características del oleaje, entre otros. A diferencia de los productos L1 y L2 cuyas recuperaciones se realizan sobre la pasada del satélite, los productos de Nivel 3 (L3) contienen productos reticulados con una determinada resolución espacial y temporal. Finalmente, los productos de Nivel 4 (L4) utilizan interpolaciones sofisticadas con modelos numéricos para así eliminar los flags/gaps presentes en los niveles anteriores. A continuación, se describen algunos de los instrumentos más comunes que logran recuperar las variables de interés sobre el área oceánica: (i) viento, (ii) altura del nivel del mar y (iii) olas.

Los primeros campos de flujo atmosférico se extrajeron utilizando fotografías - imágenes ópticas periódicas de la nubosidad a través de sensores pasivos. Así, utilizando el movimiento de la nubosidad se calculan los vectores de movimiento atmosférico (AMV, por sus siglas en inglés) a la propia altura de la nube (Smith y Phillips, 1972). Los AMV son principalmente recuperados por sensores dispuestos en los satélites de órbita geoestacionaria, lo que restringe la observación entre las latitudes de $\pm 50^\circ$ (Stoffelen, 1998). A pesar de la gran cobertura espacial y temporal que presentan estos satélites, el principal inconveniente es la difícil precisión de la altura de la nubosidad. Luego, sólo un 2% de las recuperaciones de AMV ingresa a los sistemas de asimilación (Forsythe, 2007). No obstante, en estos últimos años, gran parte de estas limitaciones están siendo superadas con el avance tecnológico. Por ejemplo, utilizando algoritmos de detección automática hay una mayor precisión de los AMV en los distintos niveles de la troposfera (Nieman y otros, 1997; Lean y otros, 2015). En la Figura 2.1 se observa una imagen de color compuesta obtenida por el satélite GOES-16 y el posterior procesamiento de los AMV. Por otra parte, las imágenes ópticas también se están comenzando a utilizar para estimar con precisión el espectro direccional de las olas (Kudryavtsev y otros, 2017; Villas Bôas y otros, 2019). En general, en las imágenes de la superficie oceánica suelen utilizarse varios detectores con diferentes canales cada uno, lo que permite tomar varias fotografías con una resolución menor a 10 km, y con un amplio arco de barrido de hasta 200 km (Arduin y otros, 2019). En la Figura 2.2 se observa una imagen capturada por el satélite Sentinel 2-A en donde se logra apreciar las olas debido a la reflexión solar de onda corta.

El viento sobre la superficie oceánica puede recuperarse de forma pasiva a través de los instrumentos denominados radiómetros. Originalmente, los radiómetros fueron diseñados para determinar las propiedades termodinámicas en la columna de aire mediante microondas emitidas naturalmente por la Tierra. Estas propiedades dependen de la rugosidad oceánica que es función del viento el cual es calculado mediante un cómputo empírico (Wentz, 1992, 1997). La Tabla I muestra las bandas de microondas más utilizadas.

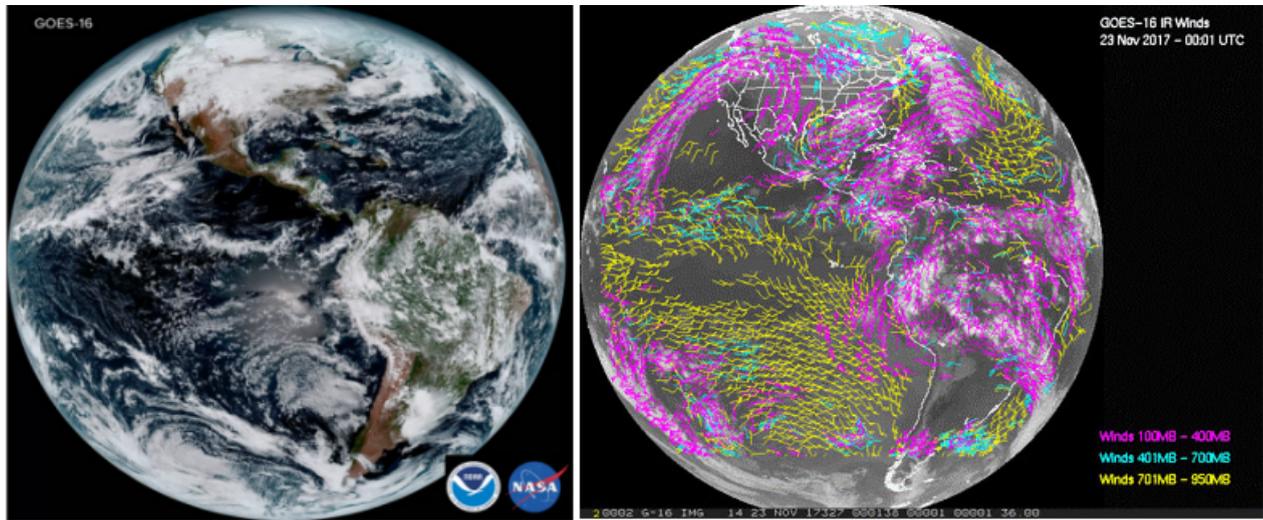


Fig. 2.1 Imagen de color compuesta capturada por el satélite GOES-16 (panel izq., Fuente: <https://www.nesdis.noaa.gov/news/the-science-behind-goes-16s-color-composite-imagery>) y obtención de los AMV a partir del post-procesamiento a través del canal infrarrojo (panel der., Fuente: <https://www.goes-r.gov/products/baseline-derived-motion-winds.html>).

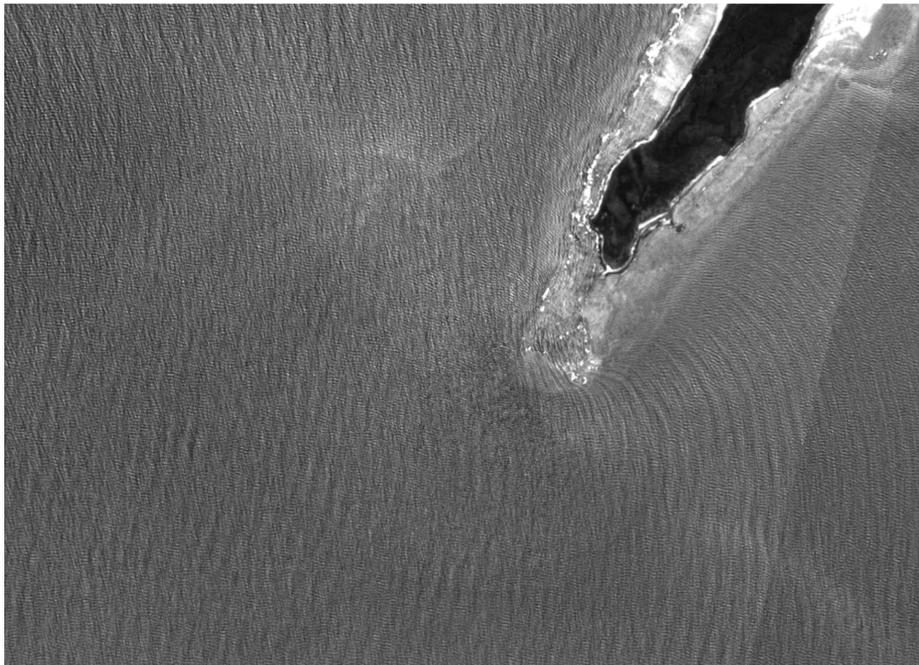


Fig. 2.2 Imagen óptica de la superficie oceánica capturada por el satélite Sentinel-2A sobre la Isla de Dorre, Australia Occidental. Fuente: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Sun_glitter_reveals_coastal_waves.

Tabla I Características de las bandas de microondas de mayor utilización.

Banda	Frecuencia (GHz)	Longitud de onda (cm)
Ka	27 - 40	1.1 - 0.8
K	18 - 27	1.7 - 1.1
Ku	12 - 18	2.4 - 1.7
X	8 - 12	3.8 - 2.4
C	4 - 8	7.5 - 3.8
S	2 - 4	15 - 7.5
L	1 - 2	30 - 15
P	0.3 - 1	100 - 30

El principal inconveniente de los productos derivados de radiómetros es la falta de precisión en zonas de precipitación especialmente cuando trabajan en bandas de microondas cortas. Además, no brindan un buen detalle de la dirección del viento, sólo de su intensidad (Stoffelen, 1998). No obstante, hoy en día existen algoritmos más avanzados que buscan mejorar la estimación del viento en zonas de precipitación utilizando bandas de microondas largas (Meissner y otros, 2009). Más aún, algunos radiómetros actuales son capaces de recuperar la polarización de las microondas, que pueden ser horizontales (HH), verticales (VV) o una combinación de ambas (VH). De esta forma, se logra obtener con mayor precisión la dirección del viento (Wentz, 1992; Gaiser y otros, 2004; Jackson y otros, 2005; Brown y otros, 2017). Los radiómetros están dirigidos con cierta inclinación respecto al nadir, en consecuencia, presentan un amplio arco de barrido (swath, por su denominación en inglés) de alrededor de 1000 km. Sin embargo, para lograr una elevada precisión, la resolución espacial suele ser baja, ya que utilizan celdas (footprint, por su denominación en inglés) de alrededor de 50 km (Wentz, 1997). En la Figura 2.3 se presenta un esquema de algunos tipos de barridos que utilizan los radiómetros como así también algunas características del barrido como el swath y el footprint. Actualmente, se están desarrollando radiómetros combinados del tipo activo/pasivo que operan en la banda L, logrando superar varios limitantes presentes en los radiómetros pasivos, siendo un ejemplo la reciente misión SMAP (Entekhabi y otros, 2010, y referencias allí). Aún así, la información de viento que puede brindar este tipo de misión se encuentra en una fase de continua exploración, particularmente en situaciones de alta precipitación (Zhou y otros, 2017).

Durante los últimos años, se avanzó en la recuperación de la intensidad de viento a través de instrumentos pasivos denominados reflectómetros, así como en la rama científica encargada de su estudio, la reflectometría. Estos instrumentos aprovechan la abundancia de las ondas de comunicación en banda L (Tabla I) emitidas por los satélites de posicionamiento (Clarizia y otros, 2009, Zavorotny y otros, 2010) (Fig. 2.4). Este tipo de microondas, al ser de mayor longitud minimizan el efecto distorsivo provocado por las áreas de precipitación, áreas que además se relacionan con áreas de altas intensidades del viento (Ruf y otros, 2018). Otro beneficio de los reflectómetros es que suelen ser sensores pequeños montados sobre satélites también pequeños y más económicos, permitiendo formar una constelación con mayor muestreo espacial y temporal (Ruf y otros, 2018). Un ejemplo de estos instrumentos son los DDMI a bordo de la

constelación CYGNSS (Clarizia y Ruf, 2016). No obstante, cada reflectómetro individual presenta un pequeño arco de barrido de alrededor de 25 km ya que depende de cómo la antena capta la reflexión especular de la señal (DDM). A diferencia de los radiómetros, los reflectómetros presentan una mayor incerteza en las recuperaciones medias de la intensidad del viento (Riccardulli y otros, 2021).

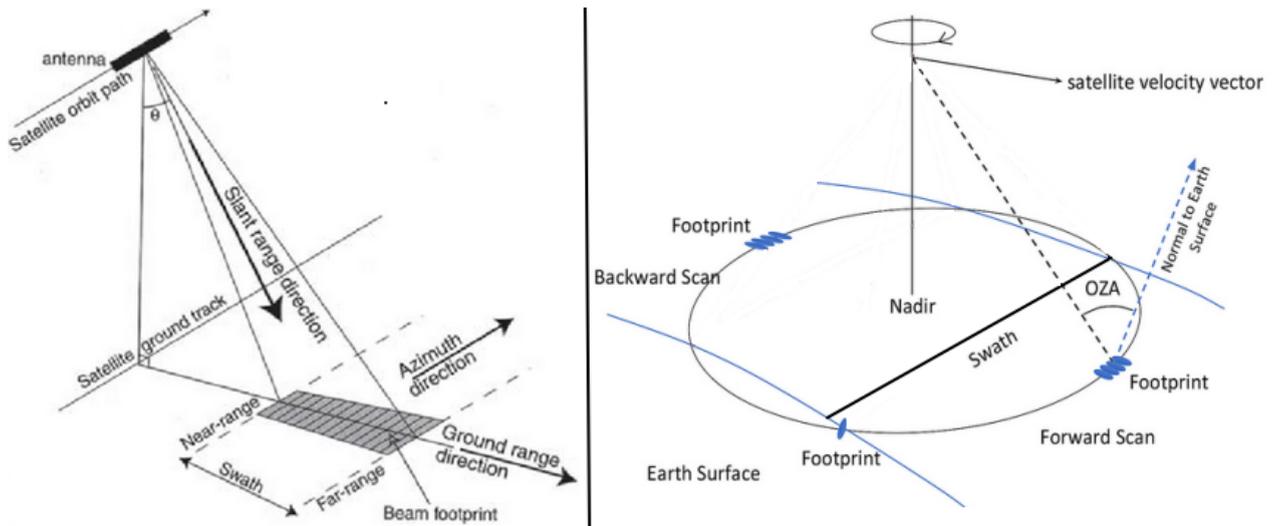


Fig. 2.3 Barrido cruzado (panel izq., Fuente: Robinson 2004. *Measuring the Oceans from Space. The principles and methods of satellite oceanography.* Springer, Praxis Publishing Ltd) y barrido cónico (panel der., Fuente: <https://cimr.eu/node/58>). En ambos esquemas se observa la amplitud de barrido (swath) y la celda de adquisición (footprint).

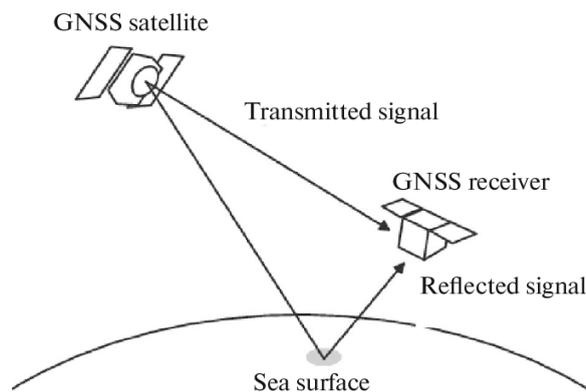


Fig. 2.4 Ejemplo del funcionamiento del reflectómetro. El sombreado gris sobre la superficie oceánica es el área de reflexión de la señal GPS computándose luego como un DDM. Fuente: Gvishiani y otros (2019). *Geoinformatics and Systems Analysis in Geophysics and Geodynamics.* Izvestiya Physics of the Solid Earth. 55. 33-49.

Quizás, los sensores activos más conocidos en la recuperación del viento son los denominados dispersómetros. Estos instrumentos emiten radiación electromagnética, de forma controlada y a través de múltiples antenas, hacia la Tierra. Estas antenas captan la dispersión de la señal emitida, que es función de la rugosidad oceánica, y la convierten en intensidad y dirección del viento (Stoffelen, 1998, y referencias allí). Debe tenerse en cuenta que para obtener la unicidad en la solución de la dirección del viento se deben utilizar soluciones obtenidas de modelos empíricos con ayuda de modelos numéricos. La rama científica detrás de esta conversión se denomina dispersometría (Stoffelen, 1998). Los dispersómetros operan en la gama de las microondas, siendo las bandas Ku y C las más utilizadas (Tabla I) y en varias polarizaciones. Los dispersómetros presentan una gran amplitud del arco de barrido, de alrededor de 500 km con celdas de entre 12.5 y 25 km (Fig. 2.5) y, al igual que los radiómetros, están afectados por las gotas de lluvia que deterioran la señal, en particular, de la banda Ku (Hoffman y Leidner, 2005).

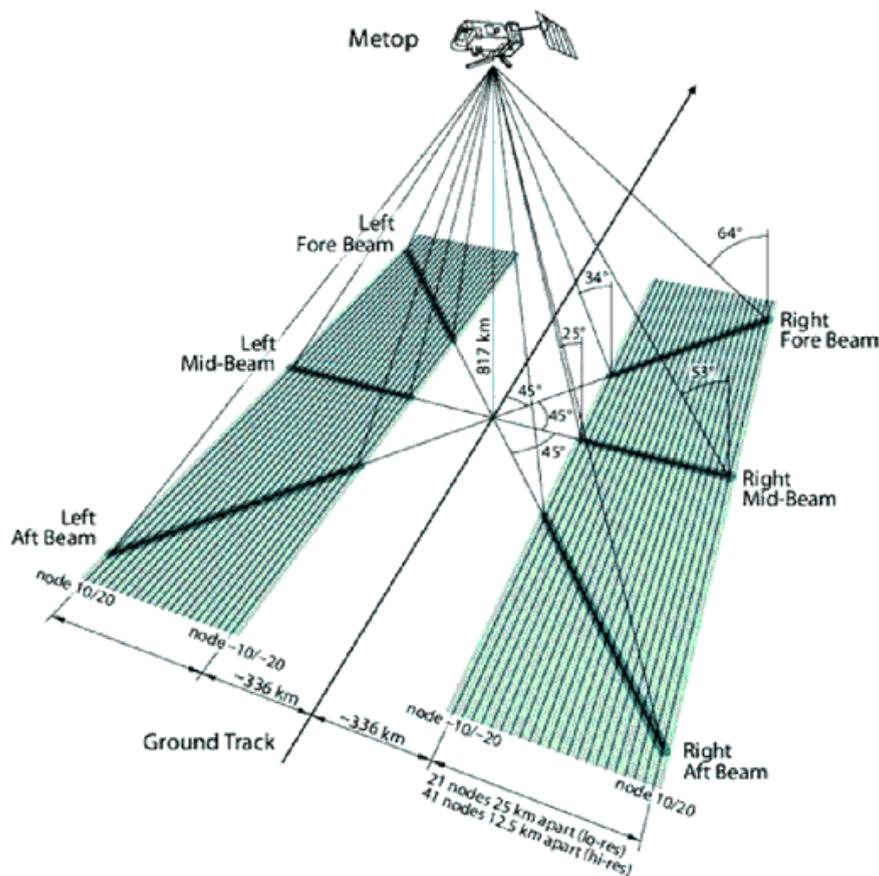


Fig. 2.5 Geometría de imagen de ASCAT. Nótese que la observación a través del camino satelital está conformada por dos arcos de barrido de 500 km separados por un gap de 672 km. A su vez, cada arco de barrido presenta celdas de adquisición de 12.5 km y 25 km¹. Imagen tomada y modificada de Wagner y otros (2013)

¹ https://scatterometer.knmi.nl/old_manuals/ss3_pm_ascat_1.15.pdf

El altímetro es un radar activo diseñado para medir la distancia entre el satélite y la superficie del mar utilizando el tiempo de viaje de las microondas. Dado que la velocidad de propagación está condicionada por las propiedades termodinámicas de la columna atmosférica, el altímetro se acopla a un radiómetro. La precisión de este cálculo depende de la altura de la órbita satelital por lo que además se acoplan varios sensores de posicionamiento. La Figura 2.6 muestra que para la determinación de la altura entre el satélite y el elipsoide de referencia, el altímetro (línea a trazos amarilla) requiere de las las correcciones termodinámicas del radiómetro (sombreado) y la precisión de la posición efectuada por los sensores Láser, Doris y GPS. Finalmente, para obtener la altura del nivel del mar y su correspondiente anomalía (sea surface height anomaly, por su denominación en inglés) se requiere del conocimiento empírico del geoide generado a través de años de mediciones.

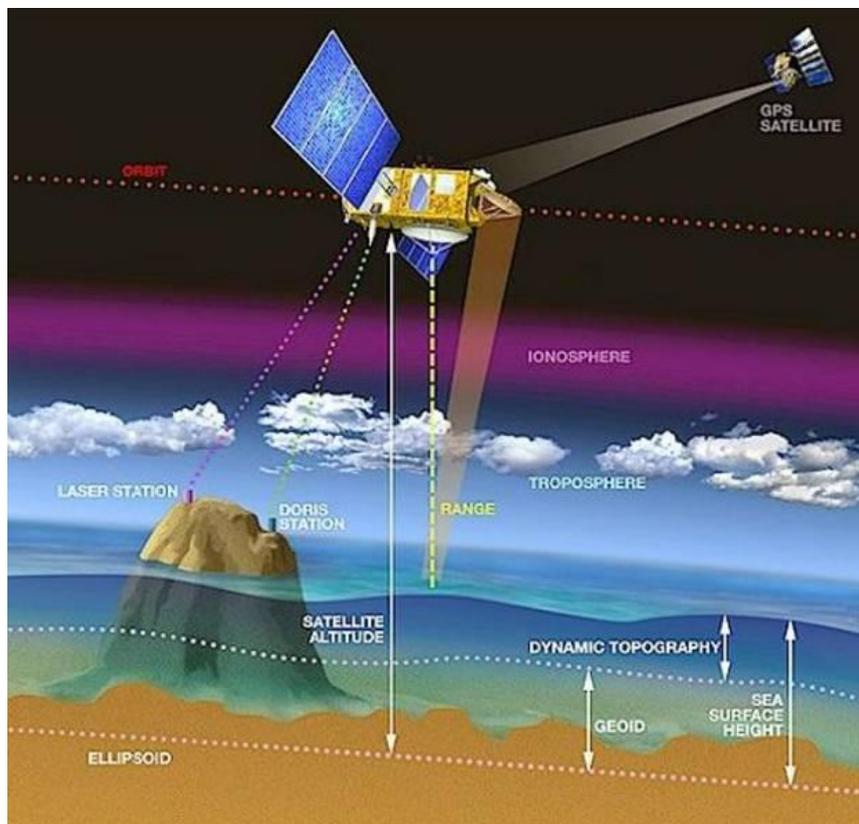


Fig. 2.6 Esquema del funcionamiento del altímetro. La recuperación de la altura del nivel del mar depende fuertemente de la altura de orbital del satélite, del elipsoide de referencia utilizado y del conocimiento empírico del geoide. Fuente: <https://training.eumetsat.int/mod/book/view.php?id=12569&chapterid=468>

Hoy en día, existe una amplia gama de altímetros que lo hacen un instrumento polivalente capaz de no sólo recuperar la altura del nivel del mar sino también la intensidad del viento y la altura significativa de la ola (Arduin y otros, 2019). Sin embargo, esta recuperación es mediante algoritmos de calibración empíricos por lo que existe un constante esfuerzo en producir algoritmos cada vez más precisos (por ejemplo Lillibridge y otros, 2014; Quartly, 2015; IAT, 2021 y referencias ahí). Por ejemplo, la varianza (error) de la altura significativa de la ola, y en consecuencia de la altura del nivel del mar, no sólo depende del algoritmo de procesamiento sino que, además, depende de la banda de microondas, siendo más precisas aquellas

recuperaciones en banda Ka (Verron y otros, 2021). Esta banda de microondas hoy en día permite recuperar espectros direccionales de la ola (Jackson y otros, 1985; Farjami y otros, 2016, Hauser y otros, 2017).

Los altímetros se suelen clasificar en dos grandes grupos, RAR (del inglés Real Aperture Radar) y SAR (del inglés Synthetic Aperture Radar). Este último genera una apertura sintética de la antena logrando recuperaciones de mayor resolución de lo que sería posible con una antena de apertura física determinada cómo lo es en el RAR (Bamler, 2000). Ambos tipos de radares utilizan dos modos de procesamiento, el modo tradicional denominado LRM (del inglés Low Resolution Mode) y el modo DDM/HRM (del inglés Delay Doppler Mapping/High Resolution Mode). El modo LRM utiliza dos variables de procesamiento, la intensidad de la señal reflejada y el tiempo de retardo, mientras que el modo DDM (comúnmente denominado SAR-Mode), impone una tercera variable que es la fase de la señal recibida (Raney, 1998, Arduin y otros, 2019 y referencias allí). Así, el mapeo DDM logra una mayor resolución de la superficie del mar en el sentido de avance del satélite, de hasta 300 m, que es lo que logra el altímetro Poseidón 4 a bordo del satélite Sentinel-6A (Scagliola, 2013; Morrow y otros, 2019). Adicionalmente, el modo DDM agrega un post-procesamiento para mantener la coherencia temporal con los registros históricos, los cuales se han tomado principalmente en modo LRM.

Algunas limitaciones de los altímetros actuales es la poca amplitud del arco de barrido dada su disposición hacia el nadir. En consecuencia, la frecuencia de muestreo en algunas regiones puede ser mayor que 10 días y presentar gaps espaciales de hasta 200 km en regiones cercanas al Ecuador. Además, las bandas de microondas que mayormente utilizan los altímetros son las de mayor frecuencia, que son fuertemente afectadas por la presencia de precipitación. Otros limitantes son los sesgos en la recuperación propia de las microondas que afecta a las alturas de olas pequeñas y grandes (por ejemplo, Quilfen y otros, 2006; Smith y Scharroo, 2015; Tournadre y otros, 2015). Actualmente, la calidad de los productos L2 DDM de los altímetros SAR sigue estando poco documentada, siendo productos utilizados con poca frecuencia. Hay consenso en que se debería fomentar un mayor uso de estos datos dado que proporcionan una visión única de los campos de oleaje globales (Arduin y otros, 2019), y a su vez, promover la combinación con las imágenes ópticas en ambientes costeros (Fig. 2.2) (por ejemplo, Rasclé y Arduin, 2009; Rikka y otros, 2018; IAT, 2021).

Otro tipo de sensor activo es el interferómetro (comúnmente denominado SAR-Int) cuya rama de estudio es la interferometría (Rodríguez y Martín, 1992; Rodríguez y Pollard, 2001). El interferómetro utiliza el principio de interferencia entre las microondas (interferómetro coherente; Rodríguez y Martín, 1992). Los interferómetros le asignan una fase interferométrica a las señales recuperadas para obtener una estimación de altura relativa, esto se logra por ejemplo utilizando varios altímetros SAR. No obstante, el interferómetro depende de una altura de referencia brindada por los altímetros nadir-convencionales (Rodríguez y Martín, 1992; Rodríguez y Pollard, 2001). Probablemente, el mayor logro de la interferometría es la disposición semi-nadir de las antenas, las cuales generan arcos de barrido de ~100 km y varias celdas de adquisición (Fig. 2.7). En este sentido, la resolución espacial viene determinada por el tamaño del haz que emiten las antenas y por la banda de microondas utilizada. La primera determina la cantidad de celdas presentes en el arco de barrido, con resoluciones de hasta 15 km, mientras que la segunda determina la resolución a lo largo del camino satelital, y varía entre 500 m en las celdas interiores y 100 m en las exteriores. En contraste con los altímetros nadir-convencionales, el interferómetro logra proporcionar una frecuencia de muestreo superior a dos veces en 10 días, reduciendo notablemente los errores de submuestreo y el ruido de las mediciones (Rodríguez y Pollard, 2001).

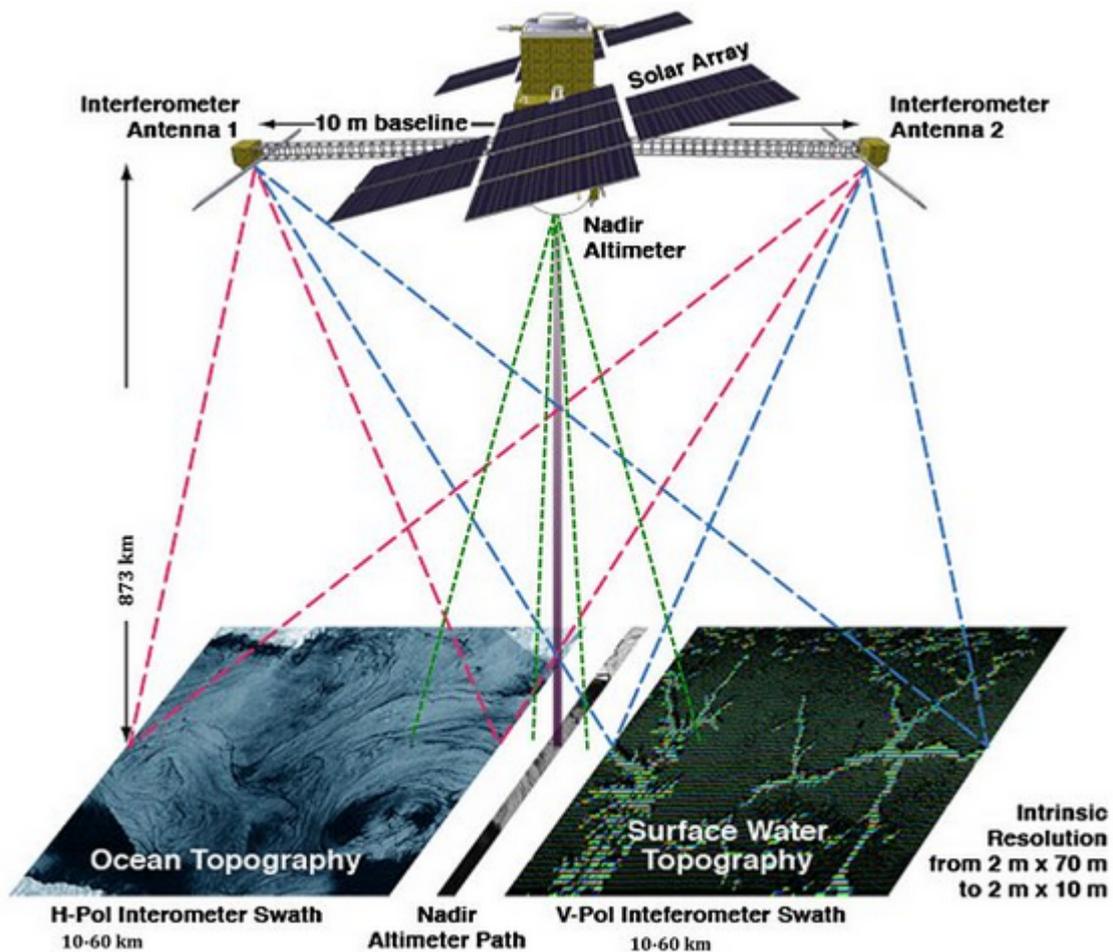


Fig. 2.7 Ejemplo de adquisición de la topografía de la superficie oceánica a partir de dos antenas interferométricas y del altímetro nadir. Nótese que dependiendo del tipo de polarización también se recupera información de los espejos de agua sobre el continente. Imagen obtenida de Fu y Ubelmann (2014).

La interferometría utilizada para obtener mediciones topográficas se volvió popular con la misión Cryosat-2² lanzada en 2010, cuyo objetivo principal era detectar y sondear la criosfera (IAT, 2021 y referencias allí) mediante el sensor SIRAL. Las mejoras continuas en los algoritmos de recuperación de las variables geofísicas a partir de dicho sensor permitieron generalizar su uso sobre el océano. La misión Cryosat-2, a pesar de estar en su estadio final ha brindado un gran aprendizaje en materia de interferometría oceánica de la cual se han beneficiado las misiones Sentinel³ y SWOT (Surface Water and Ocean Topography; Morrow y otros, 2019), próxima a lanzarse en 2022. SWOT es un SAR-In de amplio barrido en banda Ku (IAT, 2021) que presenta una mejora significativa del conocimiento de la pendiente de la superficie del mar en la dirección transversal al avance satelital (Fu y otros, 2012). SWOT proporcionará mediciones de corrientes superficiales y gradientes de submesoescala, y realizará estimaciones de la altura y velocidad orbital de las olas.

² https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/CryoSat-2_operations

³ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3>

Otro tipo de instrumental activo que ha comenzado a incorporarse en los satélites son los denominados láseres de efecto doppler, comúnmente denominados lidar ó DWL (por ejemplo Stoffelen y otros, 2006 y referencias allí; ESA, 2008). El principio de funcionamiento es la cuantificación del desplazamiento doppler de una señal de la gama ultravioleta. Este tipo de sensor logra recuperar la dirección del viento a lo largo de la pasada satelital y desde el suelo hasta la estratosfera inferior, con una resolución vertical que va desde los 0.25 a los 2 km (Reitebuch y otros, 2020). ALADIN, con una duración de 3 años, fue el primer DWL lanzado al espacio en 2018 a bordo del satélite ADM-Aeolus⁴. Este instrumento utilizaba una longitud de onda ultravioleta de 354,8 nm y un receptor óptico con dos espectrómetros encargados de sensar la retrodispersión de Rayleigh-Brillouin y de Mie (Reitebuch, 2012; Witschas y otros, 2020). Algunas limitaciones radican en la cuantificación del error sistemático debido a la carencia de observaciones in-situ y a la obtención de sólo una componente de velocidad que es a lo largo de la pasada satelital (Reitebuch y otros, 2020). Desde el punto de vista técnico, la exposición a órbitas bajas de ~300 km y el importante gasto energético láser, hacen que los DWL espaciales se encuentren todavía en fase experimental.

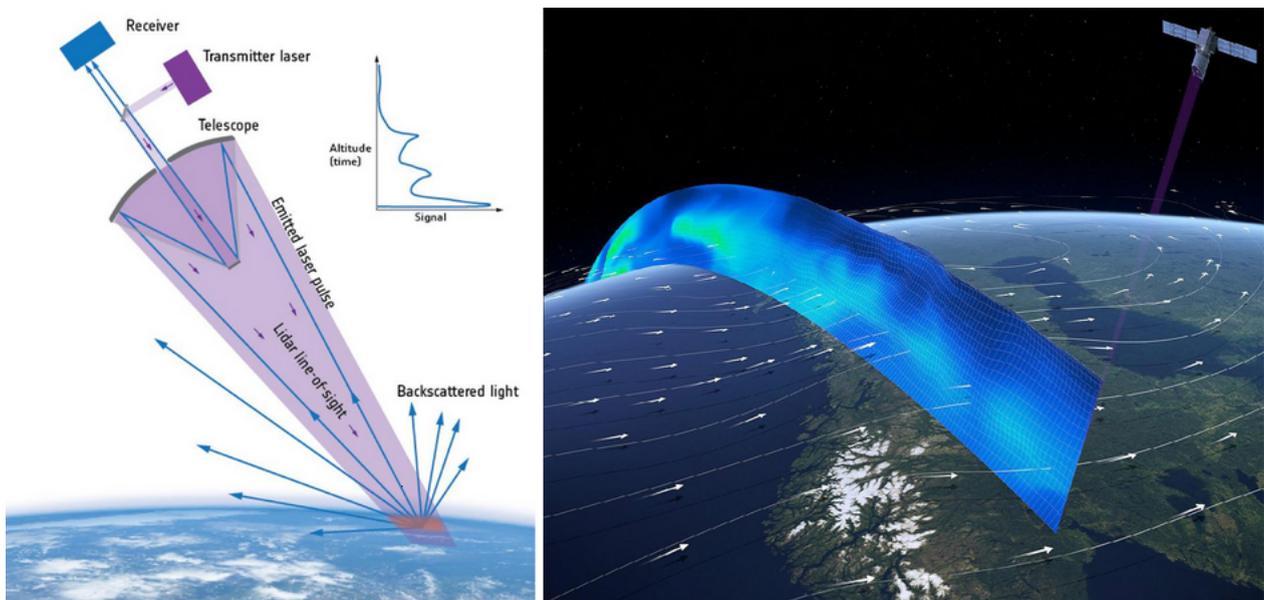


Fig. 2.8 Ejemplo del funcionamiento de un DWL (panel izq.) y reconstrucción del perfil de viento a lo largo de la pasada satelital (panel der.). Una serie de dispositivos activos que constituyen el DWL emiten luz ultravioleta hacia la atmósfera terrestre la cual es dispersada por moléculas de aire, aerosoles, hielo y gotas de agua. Sólo una fracción de esta luz es captada por los sensores del DWL. La potencia recibida, el tiempo de retardo y los cambios en la frecuencia de luz ultravioleta aportan información del campo de viento a distintas alturas. Fuente: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/aeolus>.

⁴ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Aeolus

3. MISIONES SATELITALES ACTUALES

Entre algunos de los programas satelitales más importantes por su cantidad de años en funcionamiento se encuentran las misiones de los satélites de la serie MetOp⁵ y Jason⁶. El primero dedicado a monitorear el campo de vientos oceánicos a partir de los dispersómetros de la serie ASCAT⁷ que brindan una valiosa información en el proceso de asimilación de los modelos numéricos globales. El segundo, dedicado a registrar la altura del nivel del mar a partir de los altímetros Poseidón, que además de brindar información operativa ha contribuido en numerosos avances vinculados al entendimiento del calentamiento global. No obstante, el abanico de misiones satelitales dedicado al estudio oceánico es extenso. A modo de resumen, en la Tabla II se presentan las principales características de las misiones satelitales actuales y sus sensores en actual operatividad, sus productos de superficie oceánica y la agencia a la que pertenecen.

4. VISUALIZACIÓN EN LÍNEA DE PRODUCTOS

A continuación, se realiza una reseña de los principales portales web en dónde se pueden visualizar algunos productos satelitales en sus diferentes niveles de procesamiento.

4.1 State of the Ocean (SOTO)

La plataforma de visualización SOTO (<https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/soto>) es un sitio web interactivo especialmente diseñado para la comunidad oceanográfica y desarrollado en conjunto por el Jet Propulsion Laboratory (JPL) y NASA. Permite una exploración y análisis del estado del océano con cobertura global y en tiempo casi real, brindando un acceso a un amplio repertorio de recuperaciones satelitales y sus productos derivados. Entre algunos productos, se encuentran los de viento oceánico que provienen de los productos L2 de MetOp/ASCAT y L3 de CYGNSS/DDMI, con una latencia de 3 horas y un registro histórico desde 2007 para el primero, y de entre 2 a 6 días y un registro histórico desde el 2017 para el segundo. Con respecto a la altura del nivel del mar se cuenta con un producto L3 desarrollado por el JPL denominado MEaSURES con 2 meses de latencia. La Figura 3.1 corresponde a la pantalla de inicio de la plataforma de visualización de productos SOTO, allí se pueden seleccionar a las variables en un formato de capas, dónde también permite al usuario cambiar las escalas de colores y los rangos de visualización de los productos a desplegar. Para cada variable oceánica el sitio web otorga sus respectivas referencias.

⁵ <https://www.eumetsat.int/our-satellites/metop-series>

⁶ <https://www.eumetsat.int/our-satellites/jason-series>

⁷ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/MetOp/About_ASCAT

Tabla II Algunas de las principales misiones satelitales actualmente operativas cuyos principales productos son la topografía del nivel del mar (TOP), la velocidad de viento (VW), la intensidad del viento (WS) y las propiedades del oleaje (WAVES). Nota: TOP engloba distintas definiciones de la altura del nivel del mar, en general, la variable de mayor interés es la anomalía de la altura del nivel del mar (ssha, por sus siglas en inglés). Resaltado en negro se denotan aquellos productos que se exploraron en la presente Nota Técnica.

Satélite Misión	Tipo de órbita Altura orbital	Tipo de sensor	Nombre del sensor	Producto	Agencia	Operatividad
CYGNSS⁸	Tropical ($\pm 38^\circ$) No heliosíncrona 510 km	Reflectómetro	DDMI	WS	NASA	2016-Pres.
CFOSAT ⁹	Polar Heliosíncrona 519 km	Altimetro RAR, Dispersómetro	SWIM, RFSCAT	TOP, WAVES, VW	CNES, CNSA	2018-Pres.
DMSP ¹⁰ F-16 DMSP F-17 DMSP F-18	Polar Heliosíncrona 850 km	Radiómetro	SSMIS	WS	NOAA	2003-Pres., 2006-Pres., 2009-Pres.
GCOM-W1 ¹¹	Polar Heliosíncrona 700 km	Radiómetro	AMSR-2	WS	JAXA	2012-Pres.
GOES-16 ¹²	Geostacionaria ~35800 km	Generador de imágenes avanzado	ABI	VW	NASA, NOAA, NESDIS	2017-Pres.
HY-2A HY-2B ¹³	Polar Heliosíncrona 970 km	Altimetro RAR, Dispersómetro	RA, RFSCAT	TOP, WAVES, VW	NSOAS, CAST, CNSA	2011-Pres. 2018-Pres.
Jason-3¹⁴	Polar No Heliosíncrona 1336 km	Altimetro RAR, Radiómetro	Poseidón 3, AMR-2	TOP, WAVES, WS	CNES, NASA, EUMETSAT, NOAA	2016-Pres
MetOp-B	Polar Heliosíncrona	Dispersómetro,	ASCAT, AVHRR	VW	EUMETSAT, NASA	2012-Pres

⁸ <https://www.nasa.gov/cygnss>

⁹ <https://cfosat.cnes.fr/en/CFOSAT/index.htm>

¹⁰ <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/-/dmisp>

¹¹ https://global.jaxa.jp/projects/sat/gcom_w/

¹² <https://www.goes-r.gov/>

¹³ <http://www.nsoas.org.cn/eng/column/146.html>

¹⁴ <https://www.jpl.nasa.gov/missions/jason-3>

MetOp-C¹⁵	817 km	Radiómetro				2018-Pres
SARAL ¹⁶	P-Hel 781 km	Altimetro RAR	ALTIKA	TOP, WAVES, WS	CNES, ISRO, EUMETSAT	2013-Pres
Sentinel-1A Sentinel-1B ¹⁷	Polar Heliosíncrona 700 km	SAR de Polarización dual	SAR-C	TOP, WAVES	ESA, EC	2014-Pres, 2016-Pres
Sentinel-2A Sentinel-2B ¹⁸	Polar Heliosíncrona 790 km	Generador de imágenes	MSI	WAVES	ESA, EC	2015-Pres, 2017-Pres
Sentinel-3A Sentinel-3B ¹⁹	Polar Heliosíncrona 810 km	Altimetro SAR, Radiómetro	SRAL, SLSTR	TOP, WAVES, WS	ESA, EUMETSAT, EC	2016-Pres, 2018-Pres
Sentinel-6 / Jason-CS²⁰	Polar No Heliosíncrona 1336 km	Altimetro SAR (DDMI) Radiómetro	Poseidón 4, AMR-C	TOP, WAVES, WS	EUMETSAT, CNES, EC, ESA, NASA, NOAA	2020-Pres
SMAP ²¹	Polar Heliosíncrona 685 km	Radiómetro activo/pasivo		WS	NASA	2015-Pres
STP-H8 ISS ²²	Polar No Heliosíncrona 420 km	Radiómetro polarimétrico	COWVR	VW	NASA, JPL	Lanzamiento 2022
SWOT²³	Polar No Heliosíncrona 890 km	Interferómetro, Altimetro, Radiómetro	KaRIN	TOP, WAVES, WS	NASA, CNES, CSA, UKSA	Lanzamiento 2022

¹⁵ <https://www.eumetsat.int/metop>

¹⁶ <https://www.mosdac.gov.in/saral-altika>

¹⁷ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>

¹⁸ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>

¹⁹ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3>

²⁰ https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6

²¹ <https://smap.jpl.nasa.gov/mission/description/>

²² https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/iss_cowvr

²³ <https://swot.jpl.nasa.gov/>

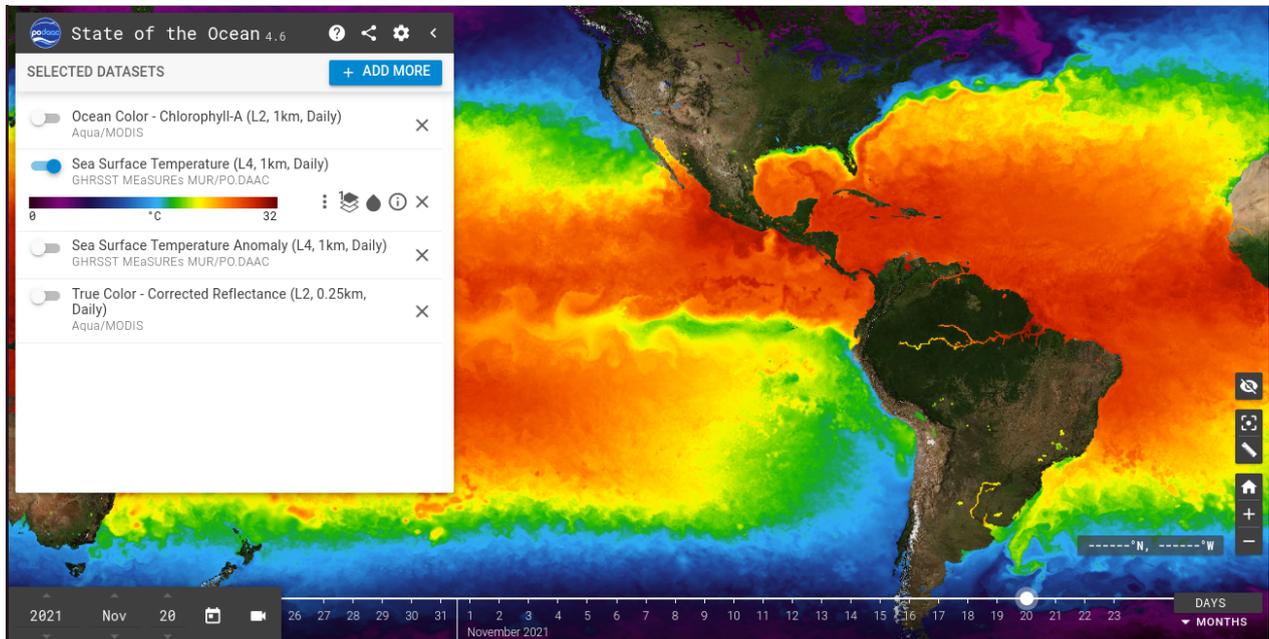


Fig. 3.1 Pantalla de inicio de la web interactiva SOTO.

4.2 EUMETView

La plataforma de visualización EUMETView (<https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>) es un servicio web desarrollado por EUMETSAT²⁴ que proporciona visualizaciones satelitales a través de una interfaz interactiva. A diferencia de SOTO, se pueden descargar las imágenes y animaciones, aunque se requiere registración previa. Particularmente, en la base de datos se encuentran las misiones MetOp y Sentinel-3, las cuales recuperan información oceánica. De la primera misión se puede obtener el viento a 10 m (VW, por sus siglas en inglés) y la temperatura superficial del mar (SST, por sus siglas en inglés), mientras que de la segunda se obtienen imágenes de color, SST y altura del nivel del mar correspondientes a los sensores OLCI²⁵, SLSTR²⁶ y SRAL, respectivamente. La Figura 3.2 corresponde a la pantalla de inicio de la plataforma de visualización de productos de EUMETView. Como se observa, el sitio web permite personalizar la visualización de los datos, añadiendo capas por satélite/producto, además posibilita guardar estos ajustes para su uso futuro.

²⁴ <https://www.eumetsat.int/>

²⁵ <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-olci/olci-instrument>

²⁶ <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-slstr/instrument>

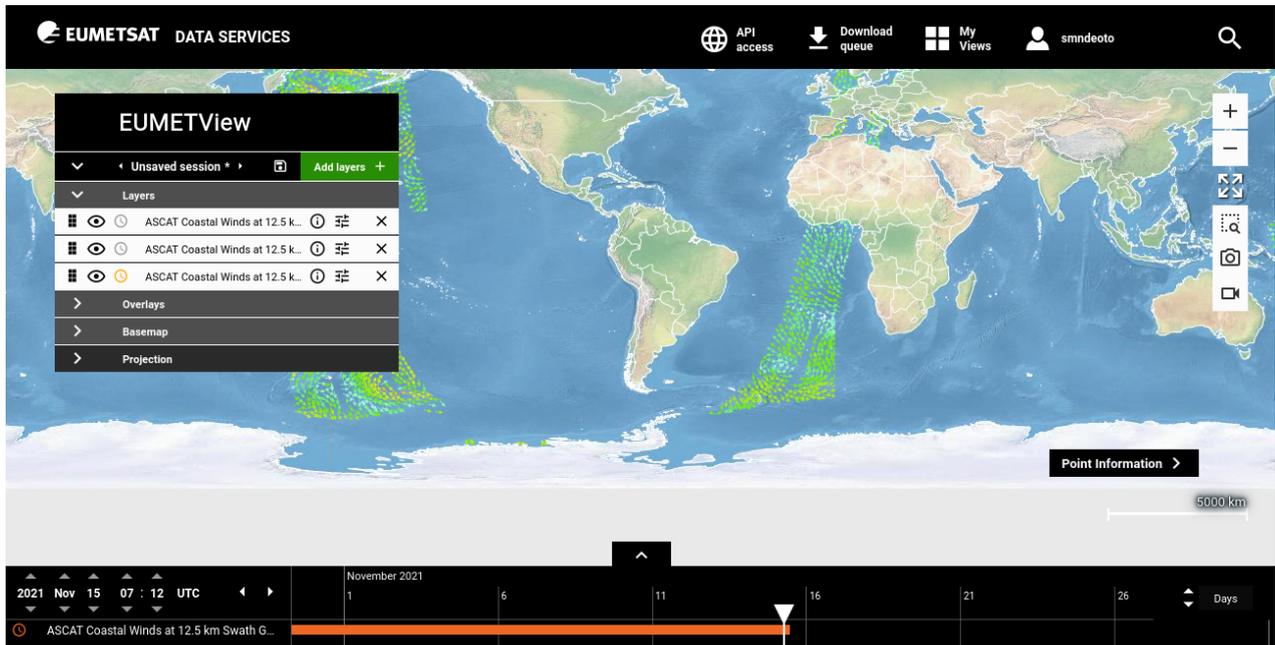


Fig. 3.2. Pantalla de inicio de la web interactiva EUMETView.

4.3 EOSDIS Worldview

EOSDIS Worldview (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>) es un espacio interactivo desarrollado por el sistema EOSDIS de NASA que proporciona un acceso rápido a más de 1000 productos de imágenes satelitales a través del portal GIBS. La mayoría de las imágenes se actualizan a diario y presentan cobertura global; algunos productos están disponibles dentro de las 3 a 5 horas posteriores a su observación satelital ofreciendo además un registro histórico de casi 30 años. La Figura 3.3 corresponde a la pantalla de inicio de la plataforma web, la que permite agregar en capas distintos productos satelitales con sus respectivas referencias. Dentro de los productos oceánicos, se encuentran las recuperaciones de intensidad de viento en base a los radiómetros SSM/I del programa DMSP y las recuperaciones de la misión CYGNSS/DDMI²⁷. También se encuentra información de la anomalía de altura del nivel del mar en ciclos de 10 días en base a las misiones TOPEX/Poseidon²⁸, Jason-1²⁹, Jason-2/OSTM³⁰, y Jason-3³¹. Finalmente, la plataforma interactiva permite la descarga de imágenes en distintos formatos.

²⁷ <https://podaac.jpl.nasa.gov/CYGNSS?tab=instruments>

²⁸ <https://www.jpl.nasa.gov/missions/topex-poseidon>

²⁹ <https://www.jpl.nasa.gov/missions/jason-1>

³⁰ <https://www.jpl.nasa.gov/missions/jason-2>

³¹ <https://www.jpl.nasa.gov/missions/jason-3>

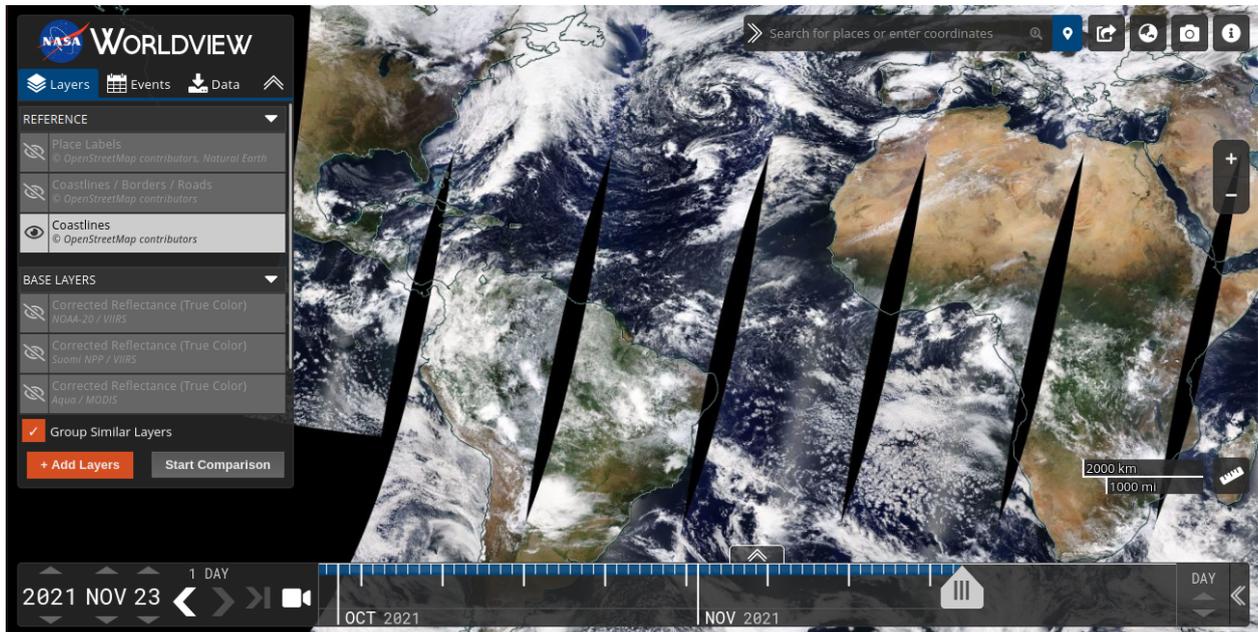


Fig. 3.3. Pantalla de inicio de la web interactiva NASA Worldview.

4.4 Manati

Desarrollado por OSWT de STAR/NESDIS/NOAA, Manati (<https://manati.star.nesdis.noaa.gov/>) brinda un servicio de apoyo a los usuarios de viento oceánico como así también asesora en la planificación y desarrollo de futuras misiones satelitales. La página de inicio (Fig. 3.4) presenta un catálogo de recuperaciones de viento a partir de varios sensores activos y pasivos a bordo de distintas misiones satelitales. Este catálogo incluye misiones actuales, como MetOp y CYGNSS, aunque también se encuentran imágenes históricas de misiones caducas como QuickSCAT y ERS-2. Por otra parte, también existe un compendio de parámetros de oleaje derivados de distintos altímetros vigentes.

5. INFORMACIÓN Y DESCARGA DE PRODUCTOS

5.1 Metop Series

El programa Metop (Tabla II) se compone actualmente de 2 satélites operativos, MetOp-B y MetOp-C, y continuará vigente sumando nuevas generaciones de satélites hacia 2040³². El objetivo del programa consiste en recoger datos esenciales para la previsión meteorológica de rango medio y la vigilancia del clima. Entre estos datos se encuentran las recuperaciones de velocidad de viento oceánico por el dispersómetro ASCAT presente en cada satélite. ASCAT es un radar de banda C (Tabla I) que obtiene la intensidad y dirección del viento con una precisión de 2 m/s para el rango 4-24 m/s y de $\pm 20^\circ$, respectivamente³³.

³² <https://www.eumetsat.int/our-satellites/metop-series>

³³ <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/m/metop>

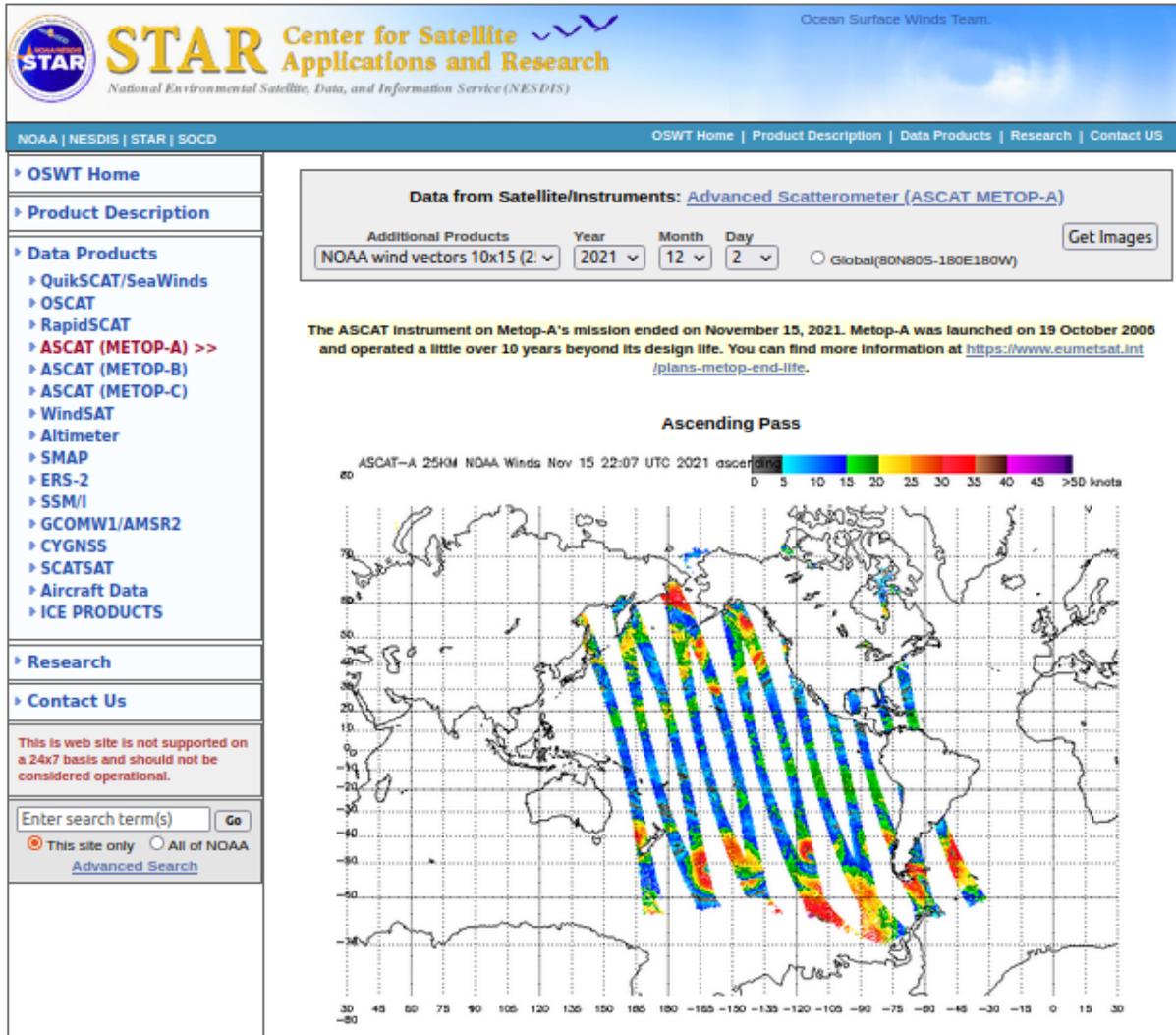


Fig. 3.4. Pantalla de inicio de la web Manati.

El producto L2 de ASCAT se descarga en formato netCDF (*.nc) desde el repositorio activo de PODAAC³⁴. La elección de este nivel de procesamiento se debe a su adquisición en tiempo casi real (NRT, por sus siglas en inglés). A continuación, se presenta la nomenclatura que presenta un archivo obtenido del sensor ASCAT-B (denominación del sensor ASCAT a bordo del satélite MetOp-B):

“ascat_20211114_222100_metopb_47526_eps_o_coa_3202_ovw.I2.nc”

Algunos parámetros importantes de la nomenclatura del archivo están en “negrita” y son (de izq. a der.): sensor, fecha y hora de inicio de órbita, satélite, resolución y nivel de procesamiento. Nótese que la información se guarda en ciclos orbitales. Según la resolución existen dos productos disponibles: “coa”, que es la versión costera optimizada con un espaciamiento de celdas de 12.5 km (25 km de resolución); y “250”, que es la versión estándar con un espaciamiento de 25 km (50 km de resolución). Particularmente, la

³⁴ <https://search.earthdata.nasa.gov/portal/podaac-cloud/search>

versión “coa” realiza un filtrado rectangular de las recuperaciones satelitales. Para mayor información dirijase al manual del usuario disponible en https://scatterometer.knmi.nl/publications/pdf/ASCAT_Product_Manual.pdf. La dimensión de las variables contenidas en el archivo se encuentran en formato de filas y celdas, las filas están determinadas por la longitud de la órbita, mientras que las columnas las determina el tipo de versión “coa” y “250”, que es de 82 y 42 celdas, respectivamente (Fig. 2.5).

La Tabla III muestra las variables de mayor relevancia para su utilización oceanográfica. La variable de indicadores de calidad comprende un amplio espectro de máscaras, como la información sobre áreas de precipitación (no se muestra) que pueden ser de gran interés en otras áreas de investigación. Otra consideración muy importante al trabajar con las recuperaciones de los satélites de órbita polar, es la frecuencia con la cual recolectan información y el tiempo que requieren para muestrear un dominio regional. La Figura 5.1 presenta dicha información para el satélite MetOp-B en la región limitada entre las longitudes 70°O y 40°O y las latitudes 70°S y 25°S durante los 3 meses del verano de 2021. Nótese que, en un paso orbital, el satélite recorre la región en un tiempo de 1 a 11 min (panel izquierdo), y que es más frecuente un periodo de revisita regional de ~1.5 h, periodo que está asociado al tiempo de traslación orbital (panel derecho). Al ser una región extensa, el periodo de revisita es menor que aquel computado con un sólo punto de la región. Por ejemplo, entre las 10:00 y 14:00 UTC del verano 2021 fue frecuente encontrar hasta 2 pasadas satelitales regionales de ASCAT-B por día (Fig. 5.2), siendo similares los resultados hallados para ASCAT-C (no se muestra). No obstante, existen períodos durante el día (no se muestran) en donde no hay mediciones en la región producto de la helio sincronización de la órbita.

Tabla III Variables de relevancia para el estudio oceanográfico obtenidas a partir del nivel L2 de la recuperación de ASCAT-B (ídem ASCAT-C). Nota: Las variables son bidimensionales, ya que están en función del escaneo cross y along-track.

Variables	Descripción
time, latitude, longitude	Tiempo en segundos. Unas ~34 líneas de escaneo cross-track (equivalente a 64 segundos) presentan el mismo tiempo de observación. La latitud y longitud referencian la posición de cada celda individual (footprint).
wind_dir	Dirección del viento (en grados desde el norte) a 10 m
wind_speed	Intensidad del viento (en $m s^{-1}$) a 10 m
wvc_quality_flag	Indicadores de calidad
ice_prob	Probabilidad de hielo

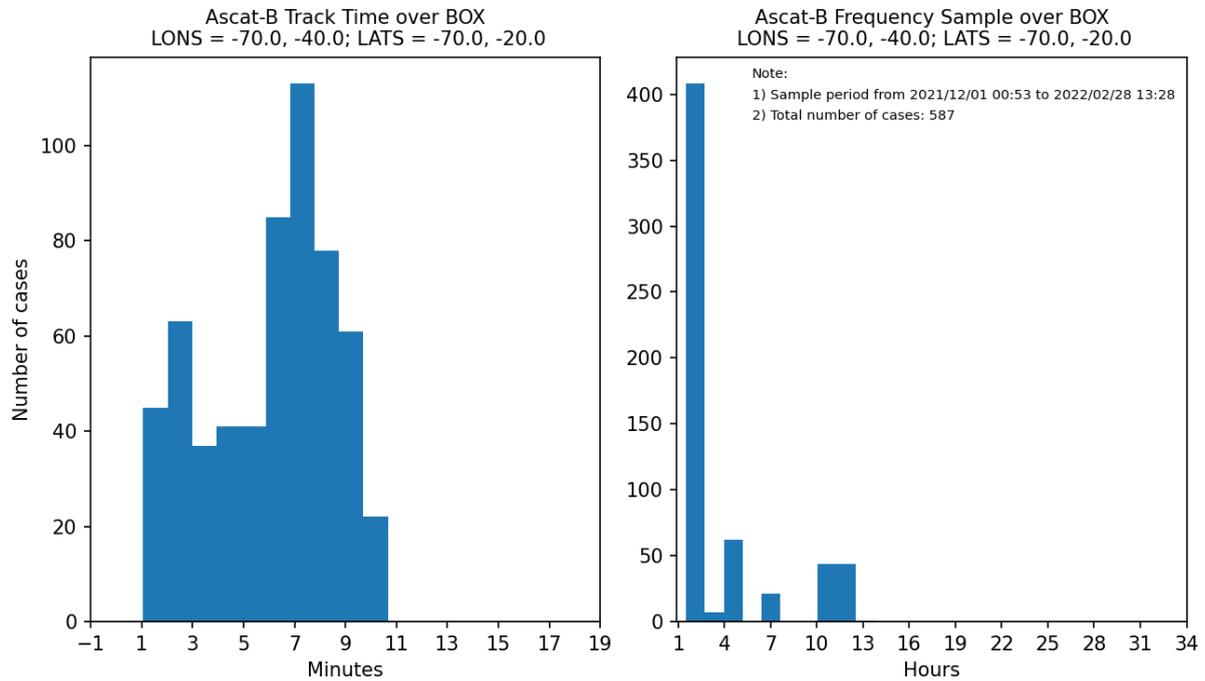


Fig. 5.1. Tiempo (izq.) que demora Metop-B en recorrer la región limitada entre las longitudes 70°O y 40°O y las latitudes 70°S y 20°S; y período de revisita (der.). El período de revisita considerado abarca una totalidad de 587 casos durante el verano 2021.

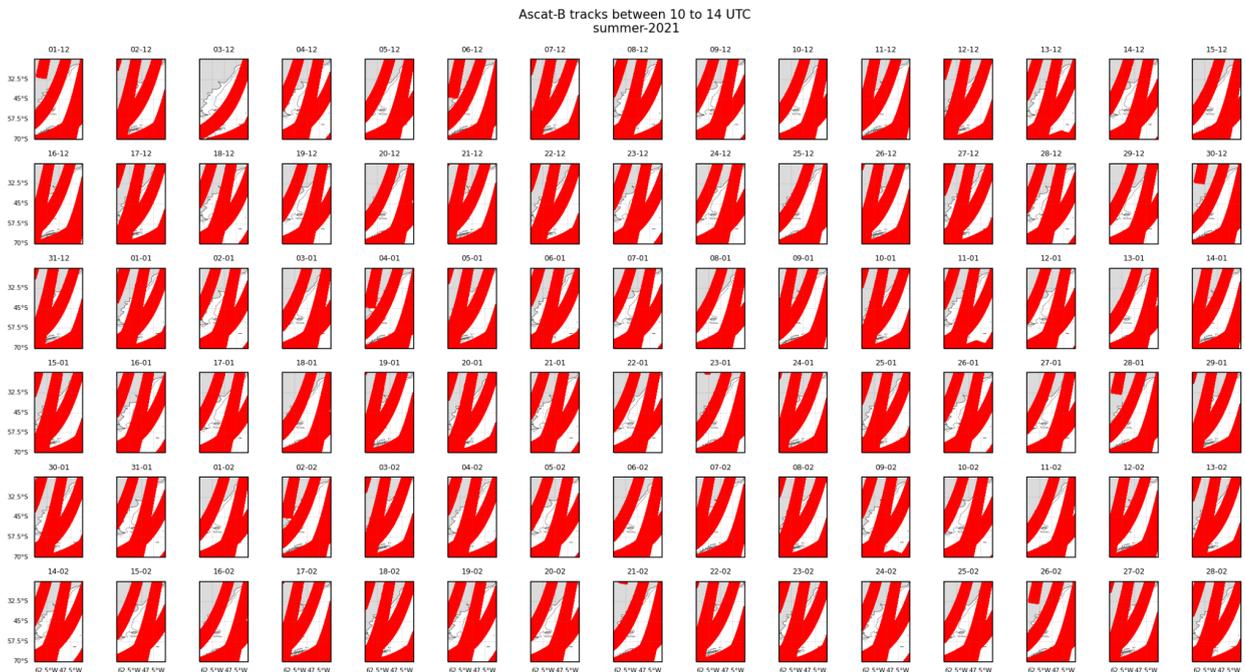


Fig. 5.2. Pasadas satelitales de Metop-B entre las 10:00 y las 14:00 UTC por cada día del verano 2021 para la región limitada entre las longitudes 70°O y 40°O y las latitudes 70°S y 25°S. Nótese que cada pasada de ASCAT contiene dos swath de 500 km (rojo) separadas por una distancia de 600 km aproximadamente.

La Figura 5.3 presenta el campo de viento según la versión estándar “250” y la versión “coa” tomados por el sensor ASCAT-C para las 12:00 UTC del día 29 de noviembre de 2021. La medición se ha redondeado a la hora más próxima teniendo en cuenta que el tiempo aproximado en recorrer la región es de ~10 min (Fig. 5.1, panel izq.). Nótese que el producto “coa” genera una mejor cobertura sobre los sectores costeros, como por ejemplo el estuario del Río de la Plata y sobre los sectores insulares, como por ejemplo las islas Orcadas del Sur.

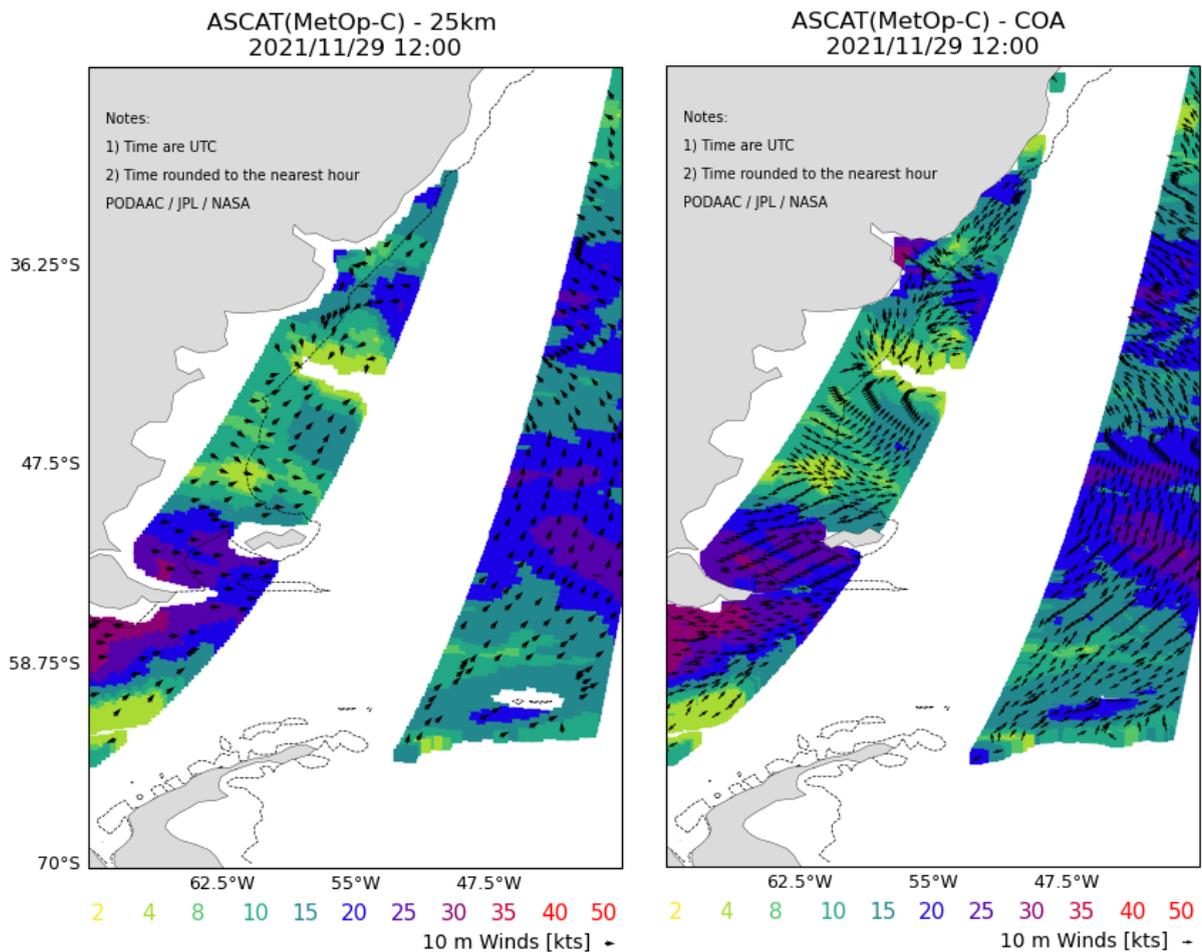


Fig. 5.3. Campo de viento recuperado por el sensor ASCAT-C según versión “250” (izq.) y “coa” (der.) para las 12:00 UTC del 29 de noviembre de 2021. La profundidad de 200 m se denota con la línea punteada.

5.2 Jason-3

Lanzado el 17 de enero de 2016 con el objetivo de continuar ininterrumpidamente el registro del nivel del mar mantenido desde los '90 por las misiones altimétricas TOPEX/Poseidon, Jason-1 y Jason-2/OSTM. Jason-3 tiene incorporado el sensor Poseidón 3B, un altímetro RAR que opera en las bandas Ku y C (Tabla I). Junto a otros sensores (Tabla II), Poseidón 3B recupera la altura del nivel del mar, la altura significativa de

la ola y la intensidad del viento³⁵ con una resolución espacial de 7 km a lo largo de la órbita y una amplitud de barrido de 5.2 km³⁶. Estas variables se obtienen en NRT y en nivel L2 desde el repositorio activo de PODAAC en su versión OGDR cuyo formato de archivo es netCDF. Cada archivo guarda un ciclo orbital, y una vez descargados, presentan la siguiente nomenclatura:

“JA3_GPSOPR_2Pfs212_136_20211114_223836_20211115_012128.nc”

En negrita se ha resaltado (de izq. a der.), el satélite, versión de escritura, número de órbita, fecha y hora inicial y final de la pasada satelital. A modo informativo, a partir del 27 de octubre de 2020 la versión de escritura “f” comenzó a incorporar variables en grupos a diferencia de la versión previa “d” cuya escritura era directa (no se muestra). Las variables en función del tiempo de adquisición se encuentran en el grupo denominado “data_01”, mientras que las relacionadas con la altura del nivel del mar (recuperadas en banda Ku), se encuentran en el grupo “data_01/ku” (no se muestra).

La Tabla IV muestra una recopilación de aquellas variables con un mayor potencial de uso en el área operativa oceánica como la intensidad del viento en superficie, la altura significativa de la ola, y la anomalía de la altura del nivel del mar. Esta última se reconstruye tomando la solución provista por CNES/CLS³⁷. En las últimas versiones, las variables geofísicas se obtienen mediante un post-procesamiento denominado MLE-4 (Thibaut y otros, 2010), aunque en el archivo se proveen las variables bajo el antiguo post-procesamiento MLE-3. También se cuenta con los indicadores de calidad, los de mayor relevancia son, el indicador de lluvia, el de tipo de superficie y el de presencia de hielo marino.

Durante el verano de 2021, la región comprendida entre las longitudes 70°O y 40°O y las latitudes 70°S y 25°S, fue frecuentada por el satélite en intervalos desde 1.8 a 16.4 horas, con una rapidez de recorrido entre 1 y 19 min (no se muestra). Jason-3 es de órbita no heliosíncrona por lo que presenta una variación de largo periodo en la frecuencia de revisita. La Figura 5.4 muestra la variación diaria en el número de órbitas entre las 10:00 y las 14:00 UTC, mientras que la Figura 5.5 presenta la intensidad de viento (panel izquierdo) y la altura significativa de la ola (panel derecho) para las 13:00 UTC del día 29 de noviembre de 2021.

5.3 Constelación CYGNSS

La misión se lanzó el 15 de diciembre del 2016 y cuenta con una constelación de 8 pequeños satélites destinados a observar las regiones tropicales entre los $\pm 38^\circ$ de latitud³⁸. CYGNSS utiliza el sensor DDMI para obtener un mapeo de la intensidad de viento mediante la reflectometría GPS. La señal GPS emitida por los satélites de posicionamiento y su posterior reflexión oceánica (hacia adelante) es interceptada por la constelación de satélites mediante triangulación biestática y luego traducida en intensidad de viento en superficie (Katzberg y otros, 2013). CYGNSS presenta una mayor ventaja que los dispersómetros y altímetros comunes ya que la utilización de la banda L permite sensar regiones con altas tasas de precipitación típicas de los ciclones tropicales. No obstante, CYGNSS es una misión científica y la primera que utiliza la reflectometría para monitorear el océano, por lo que todavía existe una exhaustiva y continua mejora de los algoritmos empíricos de recuperación (GMF, por sus siglas en inglés). A la fecha, la versión 3.1³⁹ que es la más actual de la GMF utiliza el estado del mar pronosticado para obtener las variables

³⁵ <https://www.nesdis.noaa.gov/current-satellite-missions/currently-flying/jason-3/jason-3-spacecraft-instruments>

³⁶ https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/JASON_3_L2_OST_OGDR_GPS

³⁷ <https://www.eumetsat.int/media/47149>

³⁸ <https://cygnss.engin.umich.edu/>

³⁹ <https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C2183155461-POCLOUD.html>

geofísicas (Pascual y otros, 2021). Pese a esto, todavía la GMF no es única ya que varía según la intensidad del viento, obteniéndose distintos productos de viento para distintas intensidades.

Tabla IV Variables de relevancia para el estudio oceanográfico obtenidas a partir del nivel L2 de la recuperación NRT de Jason-3.

Variables	Grupo	Comentarios
time, latitude, longitude	data_01	El tiempo en segundos provee de dimensión al resto de las variables (variables de 1-dimensión). La latitud y la longitud de cada celda (footprint) se encuentran en función del tiempo.
rad_qual	data_01	Calidad de recuperación por radiómetro
rad_surface_type_flag	data_01	Indicador de tipo de superficie
rad_rain_flag	data_01	Indicador de lluvia
rad_sea_ice_flag	data_01	Indicador de presencia de hielo marino
rad_cloud_liquid_water	data_01	Cantidad de agua líquida en nubes por radiómetro
rad_water_vapor	data_01	Vapor de agua por radiómetro
wind_speed_alt	data_01	Intensidad de viento en superficie por altímetro
rain_flag	data_01	Indicador de lluvia por altímetro
alt_qual	data_01	Calidad de recuperación por altímetro
ssha	data_01/ku	Anomalía de la altura del nivel del mar
swh_ocean	data_01/ku	Altura significativa de la ola

Las mediciones de CYGNSS se encuentran en nivel L2 en STC (Slow-Time Critical, por sus siglas en inglés) en el repositorio activo de PODAAC. Esto es debido a que el post-procesamiento para homogeneizar la resolución espacial a una resolución final de 25 km (Ruf y otros, 2018) demanda una latencia de ~2 días. A continuación, se presenta la nomenclatura de los archivos de la versión 3.1 que se encuentran en formato netCDF y contienen un día completo de medición:

“cyg.ddmi.s20211114-000000-e20211114-235959.l2.wind-mss.a31.d32”

Existen tres dimensiones características al levantar el archivo: “samples”, “ddm” y “averaged_L1” (no se muestran). La dimensión “samples” configura a las coordenadas de tiempo, latitud y longitud, y a todas las variables de relevancia oceanográfica como la intensidad del viento, incertidumbre, bias, número de satélite e indicadores de calidad (Tabla V). Las restantes dos dimensiones proporcionan información técnica para obtener el nivel L2, aunque también se encuentran ligadas a la investigación de otras variables. La intensidad de viento se deriva utilizando una combinación de los observables NBRCS y LES (Ruf y otros, 2016). El archivo también brinda el cómputo de intensidad de viento a partir de cada observable individual

(Tabla V). Para condiciones de elevada intensidad de viento es recomendable utilizar la variable “yslf_wind_speed” derivada del observable NBRCS a partir de una GMF condicionada por mar joven (YSLF). La información de la incertidumbre y sesgo de las recuperaciones del viento (Tabla V) también se otorgan, aunque son valores tabulados⁴⁰.

Tabla V Variables de relevancia para el estudio oceanográfico obtenidas a partir del nivel L2 de la recuperación de CYGNSS. Dichas variables son unidimensionales, aunque existen variables bi- o tridimensionales relacionadas a la confección de la información.

Variables	Comentarios
sample_time, latitude, longitude	El tiempo es el promedio de tiempo de los DDM que se utilizaron para computar la intensidad de viento. La latitud y longitud se obtienen promediando los puntos especulares de los DDM. Se denomina DDM a las reflexiones de GPS que son captadas de forma efectiva por el radar biestático, pudiendo ser entre 4 y 20.
spacecraft_num	Número de satélite
wind_speed	Intensidad del viento en superficie con corrección por estado del mar mediante algoritmo de mar (FDS) desarrollado por Pascual y otros (2021)
sample_flags	Indicadores de calidad
wind_speed_uncertainty	Desvío estándar (tabulado) de los errores aditivos de “wind_speed”
wind_speed_bias	Sesgo (tabulado) de los errores de “wind_speed”
fds_nbrcs_wind_speed	Intensidad de viento obtenida mediante algoritmo de mar desarrollado (FDS) y observables NBRCS. Sin corrección por estado del mar.
fds_les_wind_speed	Intensidad de viento obtenida mediante algoritmo de mar desarrollado (FDS) y observables LES. Sin corrección por estado del mar.
fds_sample_flags	Indicador de calidad para recuperación procesada mediante algoritmo de mar desarrollado (FDS)
yslf_nbrcs_high_wind_speed	Intensidad de viento obtenida mediante algoritmo de mar joven (YSLF) y observables NBRCS. Sin corrección por estado del mar.
yslf_wind_speed	Intensidad de viento obtenida mediante algoritmo de mar joven (YSLF) y observables NBRCS. Con corrección por estado del mar mediante algoritmo de mar joven (YSLF)*
yslf_wind_speed_uncertainty	Desvío estándar (tabulados) de los errores aditivos de “yslf_wind_speed”
yslf_sample_flags	Indicador de calidad para la recuperación procesada mediante algoritmo de mar joven (YSLF)

⁴⁰ http://cygnss.engin.umich.edu/wp-content/uploads/sites/534/2021/07/148-0138-ATBD-L2-Wind-Speed-Retrieval-R6_release.pdf

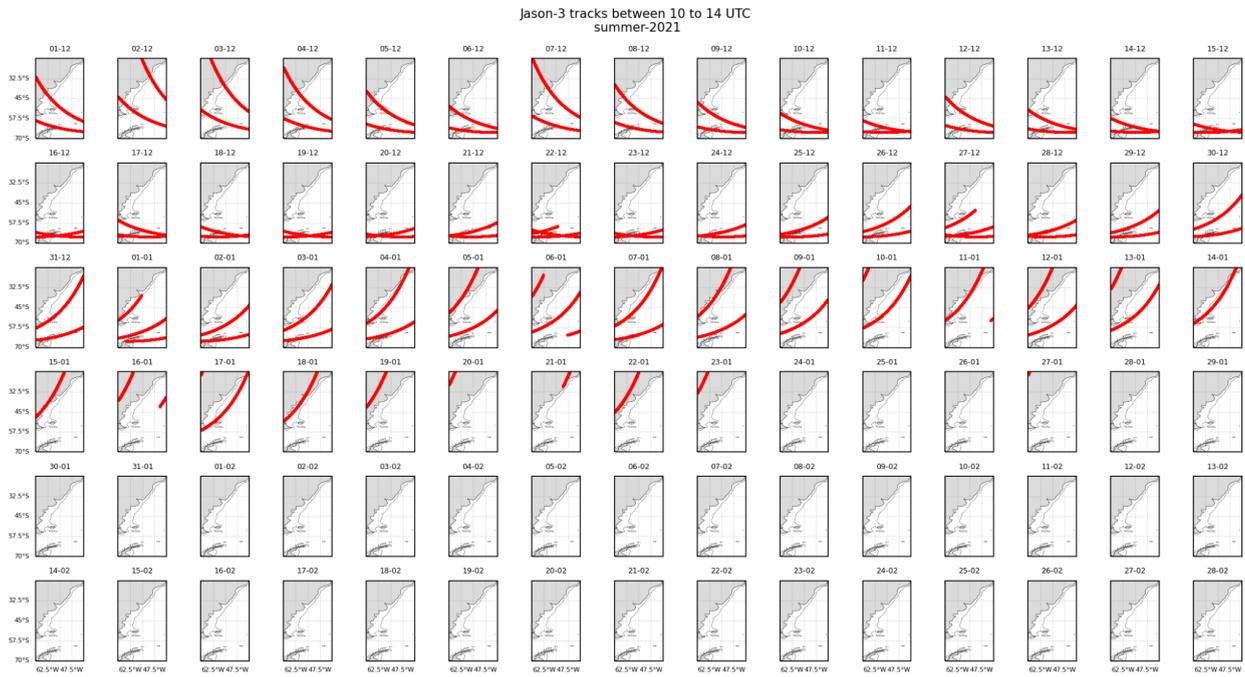


Fig. 5.4. Pasadas satelitales de Jason-3 entre las 10:00 y las 14:00 UTC por cada día del verano 2021 para la región limitada entre las longitudes 70°O y 40°O y las latitudes 70°S y 25°S. Nótese que la pasada del altímetro Poseidón 3 (rojo) no es representativa de la escala del mapa ya que el swath (amplitud de barrido) es de 5.2 km aproximadamente.

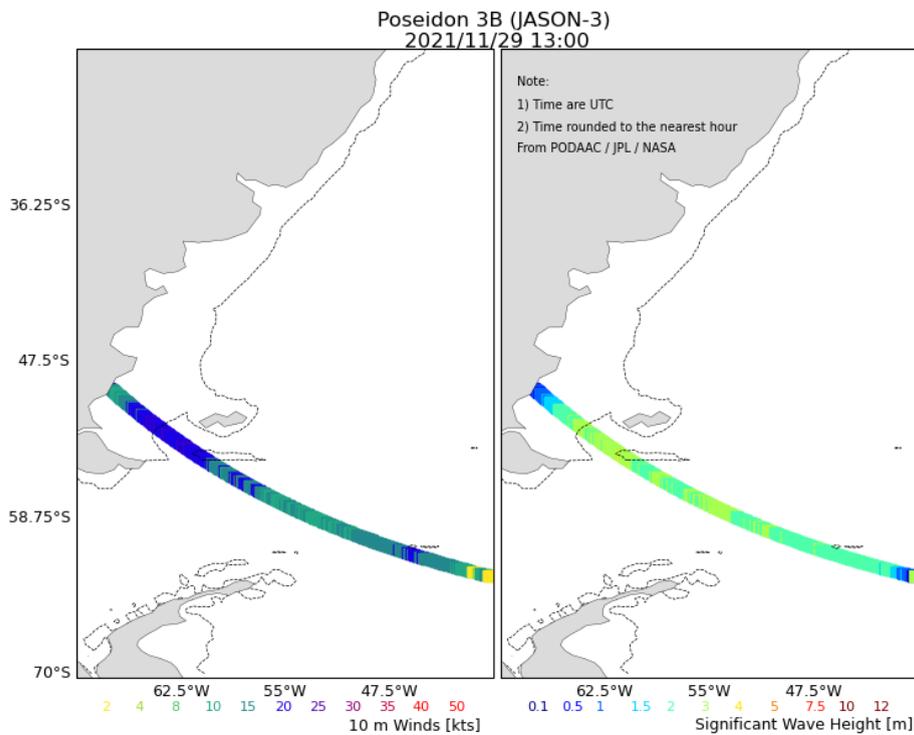


Fig. 5.5. Intensidad del viento en superficie (izq.) y altura significativa de la ola (der.) obtenida por el altímetro Poseidón 3B para las 13:00 UTC del día 29 de noviembre de 2021. La profundidad de 200 m se denota con la línea punteada.

A modo de ejemplo, la nave número 8 CYGNSS recorre la región comprendida entre las longitudes 70°O y 40°O y las latitudes 70°S y 25°S entre 1 y 4 min (no se muestra) debido a que la órbita del tipo tropical tiene como límite sur los 38°S. A su vez, para la misma nave, el periodo de revisita es de ~1.5 horas (no se muestra). Dado que las naves de CYGNSS presentan una órbita no heliosíncrona se evidencia una deriva temporal en el número de observaciones diarias (Figura 5.6). Finalmente, la Figura 5.7 presenta la intensidad de viento para las 12:00 UTC del día 29 de noviembre de 2021.



Fig. 5.6. Pasadas satelitales (rojo) de la constelación CYGNSS entre las 10:00 y las 14:00 UTC por cada día del verano 2021 para la región limitada entre las longitudes 70°O y 40°O y las latitudes 70°S y 25°S. Nótese la falta de observaciones al sur de 38°S debido al tipo de órbita tropical.

5.4 Sentinel-6/Jason-CS

La misión Sentinel-6/Jason-CS surge producto de la colaboración entre la NASA, NOAA, ESA y EUMETSAT⁴¹ y consta de dos satélites idénticos, el Sentinel-6A Michael Freilich lanzado el 21 de noviembre de 2020, y Sentinel-6B, que se pretende lanzar durante 2025⁴². El objetivo de la misión es mantener las mediciones de altura de la superficie oceánica, comenzada desde los '90, bajo el estado del arte. Esto se logra a través de la combinación del conocimiento del altímetro Poseidón y la tecnología SAR, heredados de las misiones Jason y CryoSat-2, respectivamente (Donlon y otros, 2021). La topografía oceánica se obtiene combinando la doble frecuencia de emisión del altímetro Poseidon-4 (banda Ku y C) con dos modos operativos, LRM y SAR/DDM. Para derivar dicho producto, además, se utilizan los sensores de posicionamiento y el radiómetro AMR-C⁴³. El modo "SAR/DDM" es la medición en ráfagas de 20 Hz cuya resolución espacial es

⁴¹ <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-6>

⁴² https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6

⁴³ <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-6/instrument-payload>

de ~300 m sobre la pasada satelital (Donlon y otros, 2021). En cambio, el modo “LRM” simula un radar tipo RAR ya que se promedian las recuperaciones en alta frecuencia a una frecuencia de 1 Hz y una resolución final de 7 km de longitud. De esta manera, el modo “LRM” empareja a las mediciones realizadas por Jason-3 OGDR y reduce la varianza de la altura significativa de la ola (Arduin y otros, 2019). Algunos requisitos en el rendimiento de la misión Sentinel-6 se detallan en Scharroo (2018). Por ejemplo, en la versión NRT, se busca una cota de error máxima para la altura significativa de la ola y la intensidad del viento de $15 \text{ cm} \pm 5\%$ y de 1.5 ms^{-1} en el rango de 3 a 20 ms^{-1} , respectivamente.

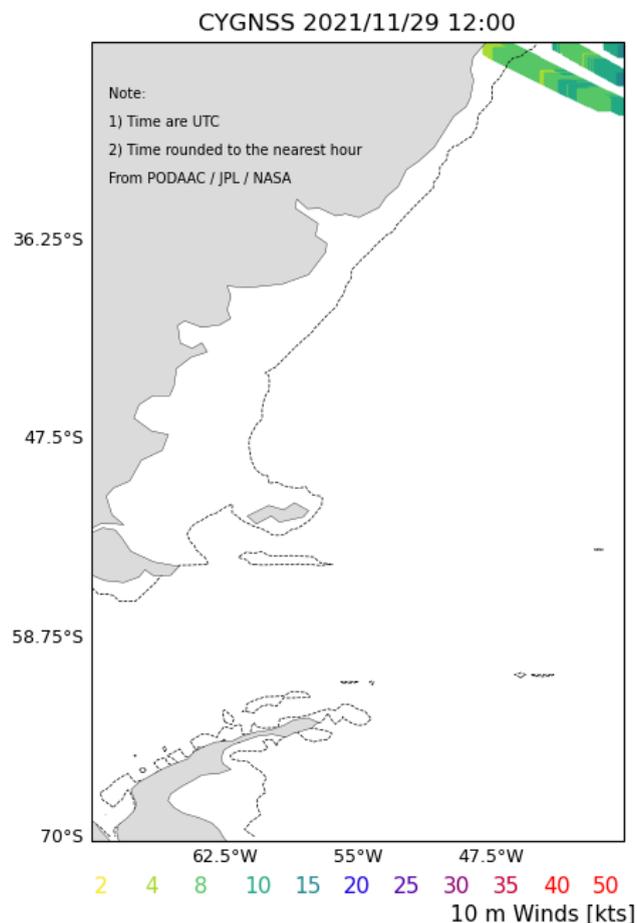


Fig. 5.7. Intensidad del viento en superficie obtenida por la constelación CYGNSS para las 12:00 UTC del día 29 de noviembre de 2021. Nótese que, para este horario del día, las recuperaciones de la constelación CYGNSS se encuentran únicamente sobre el extremo noreste de la región considerada. La profundidad de 200 m se denota con la línea punteada.

Los modos LRM y SAR/DDM del altímetro Poseidón 4 se pueden obtener en NRT y nivel L2 desde el repositorio activo de PODAAC en formato netCDF. Si se desea trabajar solamente con el modo LRM se recomienda descargar el producto “RED”, cuyos archivos presentan la siguiente nomenclatura:

“S6A_P4_2__LR_RED__NR_036_032_20211031T222556_20211101T000024_F03.nc”

En cambio, para obtener la información DDM se debe descargar el producto “STD” que además, separado en grupos, contiene la información LRM-RED. Dicho archivo presenta la siguiente nomenclatura:

“S6A_P4_2__LR_STD__NR_036_032_20211031T222556_20211101T000024_F03.nc”

Nótese que ambos archivos contienen mediciones en ciclos satelitales (negrita), cuya duración es de ~1.5 h. El acrónimo F03 en el final del nombre del archivo corresponde a la última versión actualizada al 29/07/2021⁴⁴. En el producto “STD”, no sólo se encuentran las mediciones ráfagas a 20 Hz (alojadas en el grupo data_20), sino que además se disponen las del producto “RED”. Debe tener en consideración que los archivos del producto “STD” son hasta 20 veces más pesados que los del producto “RED”. Se recomienda un uso prudente del modo SAR/DDM dado que al momento de escribir la presente Nota Técnica, todavía se encuentra en fase de investigación. En este sentido, se requiere de un tiempo propicio para llevar a cabo las validaciones y calibraciones correspondientes. La Tabla VI presenta algunas de las variables de alto impacto en la meteorología oceánica.

Hasta la finalización de dicha Nota Técnica, Sentinel-6A estaba en un periodo de intercalibración con Jason-3, por lo que su órbita era idéntica a la de este último, presentando las mismas características en el periodo de revisita, tiempo de recorrido regional y variación de la cantidad de órbitas diarias regionales entre las 10:00 y las 14:00 UTC (Fig. 5.4). La Figura 5.8 presenta la intensidad de viento (panel izquierdo) y la altura significativa de la ola (panel derecho) recuperados por el sensor Poseidón 4 para las 13:00 UTC del día 29 de noviembre de 2021.

5.5 SWOT

La misión SWOT (del inglés, Surface Water and Ocean Topography, Morrow y otros, 2019) será la primera misión dedicada al conocimiento de la topografía oceánica de sub-mesoescala (Morrow y otros, 2018). Su proyección de lanzamiento estimada es para finales del año 2022 y estará a cargo de las agencias NASA, CNES, CSA y UKSA. La principal característica de esta misión es la capacidad de contar con un interferómetro de amplio barrido, denominado KaRIN, que otorgará mediciones con una resolución de aproximadamente 15 km en un arco de barrido de 120 km (Fig. 2.7). Esta resolución permite una mayor frecuencia de muestreo que los altímetros nadir-convencionales (Morrow y otros, 2019). No obstante, esta capacidad de muestreo supone un reto para el estudio de los procesos oceánicos rápidos y de pequeña escala espacial (Gaultier y otros, 2016).

En pos del beneficio de los futuros usuarios y del desarrollo de productos intrínsecos, ya hay disponible una base de datos simulados de SWOT⁴⁵ a partir del reanálisis oceánico GLORYS⁴⁶. Estas simulaciones se obtienen desde el repositorio activo de PODAAC⁴⁷ y presentan la siguiente nomenclatura:

“SWOT_L2_LR_SSH_Expert_572_009_20151101T013208_20151101T022313_DG10_01.nc”

⁴⁴ https://www-cdn.eumetsat.int/files/2021-11/Copernicus%20Sentinel-6%20Michael%20Freilich%20Product%20Notice%20%28Altimetry%29_V4B.pdf

⁴⁵ https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/misc/web/misc/swot_mission_docs/pdd/D-56407_SWOT_Product_Description_L2_LR_SSH_20200806.pdf

⁴⁶ <https://www.mercator-ocean.eu/en/ocean-science/glorys/>

⁴⁷ https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/SWOT_SIMULATED_L2_KARIN_SSH_GLORYS_CALVAL_V1

Tabla VI Variables de alto impacto en la meteorología oceánica obtenidas del nivel L2 en NRT del modo "RED" de Sentinel-6. No hay cambios en la denominación de las variables respecto del modo "STD" (no se muestra), aunque sí se observan cambios mínimos con respecto al contenido de los grupos.

Variables	Grupo	Comentarios
time, latitude, longitude	data_01	El tiempo en segundos provee de dimensión al resto de las variables (1-dimensión) y se obtiene como una combinación apropiada de los pulsos (1 hasta 20 Hz) en que es tomada la medición. La latitud y la longitud de cada celda (footprint) se encuentran en función del tiempo.
rad_wind_speed	data_01	Intensidad del viento en superficie por radiómetro
rad_wind_speed_qual	data_01	Calidad de la recuperación de viento por radiómetro
rad_surface_type_flag	data_01	Indicador de tipo de superficie por radiómetro
rad_rain_flag	data_01	Indicador de lluvia por radiómetro
rad_sea_ice_flag	data_01	Indicador de presencia de hielo marino por radiómetro
rad_cloud_liquid_water	data_01	Cantidad de agua líquida en nubes por radiómetro
rad_cloud_liquid_water_qual	data_01	Calidad de la recuperación de agua líquida en nubes por radiómetro
rad_water_vapor	data_01	Vapor de agua por radiómetro
rad_water_vapor_qual	data_01	Calidad de la recuperación de vapor de agua por radiómetro
wind_speed_alt	data_01	Intensidad del viento en superficie por altímetro
rain_flag	data_01	Indicador de lluvia por altímetro
wind_speed_mod_u	data_01	Componente u de la intensidad de viento por altímetro
wind_speed_mod_v	data_01	Componente v de la intensidad de viento por altímetro
swh_ocean	data_01/c	Altura significativa de la ola escaneada en banda c
swh_ocean_qual	data_01/c	Calidad de la recuperación de la altura significativa de la ola
swh_ocean_numval	data_01/c	Número de muestras a 20 Hz utilizadas para realizar el promedio de 1 Hz
swh_ocean_rms	data_01/c	Desviación estándar de las mediciones de 20 Hz. previa remoción de valores atípicos
swh_ocean	data_01/ku	Altura significativa de la ola escaneada en banda ku
swh_ocean_qual	data_01/ku	Calidad de la recuperación de la altura significativa de la ola
swh_ocean_numval	data_01/ku	Número de muestras a 20 Hz utilizadas para realizar el promedio de 1 Hz
swh_ocean_rms	data_01/ku	Desviación estándar de las mediciones de 20 Hz. previa remoción de valores atípicos
ssha	data_01/c	Anomalía de la altura del nivel del mar

El archivo “Expert” (negrita) contiene variables simuladas que se asemejan a los datos que serán recogidos por KaRIN. Existen tres dimensiones características al levantar el archivo: “num_lines”, “num_pixels” y “num_sides” (no se muestran). Las dimensiones “num_lines” y “num_pixels” son las que configuran gran parte de las variables recuperadas, como la altura de la superficie del mar, la anomalía de la altura de la superficie del mar, la intensidad del viento, la altura significativa de las olas, entre otras (Tabla VII). Las franjas de barrido donde se recuperan estas variables abarcan 60 km a ambos lados del nadir y presentan una resolución de 2x2 km².

Tabla VII Variables de relevancia para el estudio oceanográfico obtenidas a partir del nivel L2 de la recuperación de SWOT.

Variables	Descripción
time, latitude, longitude	El tiempo unidimensional (num_lines) en segundos. La latitud y longitud son bidimensionales (num_lines x num_pixels) y referencian la posición de cada celda (footprint).
ssha_karin	Anomalía de la altura del nivel del mar utilizando estimaciones de troposfera húmeda por radiómetro
ssha_karin_2	Anomalía de la altura del nivel del mar utilizando estimaciones de troposfera húmeda por modelos meteorológicos
ssha_karin_qual	Indicador de calidad de la recuperación de la anomalía de la altura del nivel del mar
mean_wave_direction	Dirección del oleaje medio
mean_wave_period_t02	Periodo medio de las olas del viento a partir del segundo momento
swh_karin	Altura significativa de la ola
swh_karin_qual	Indicador de calidad de la recuperación de la altura significativa de la ola
swh_karin_uncert	Incerteza de 1-sigma en altura significativa de la ola
wind_speed_karin	Intensidad del viento derivada usando la atenuación atmosférica corregida por el radiómetro
wind_speed_karin_2	Intensidad del viento derivada usando la atenuación atmosférica corregida por modelos meteorológicos
rain_flag	Indicador de lluvia
wind_speed_rad	Intensidad del viento por radiómetro
rad_surface_type_flag	Indicador de tipo de superficie
rad_cloud_liquid_water	Cantidad de agua líquida en nubes por radiómetro
rad_water_vapor	Vapor de agua por radiómetro

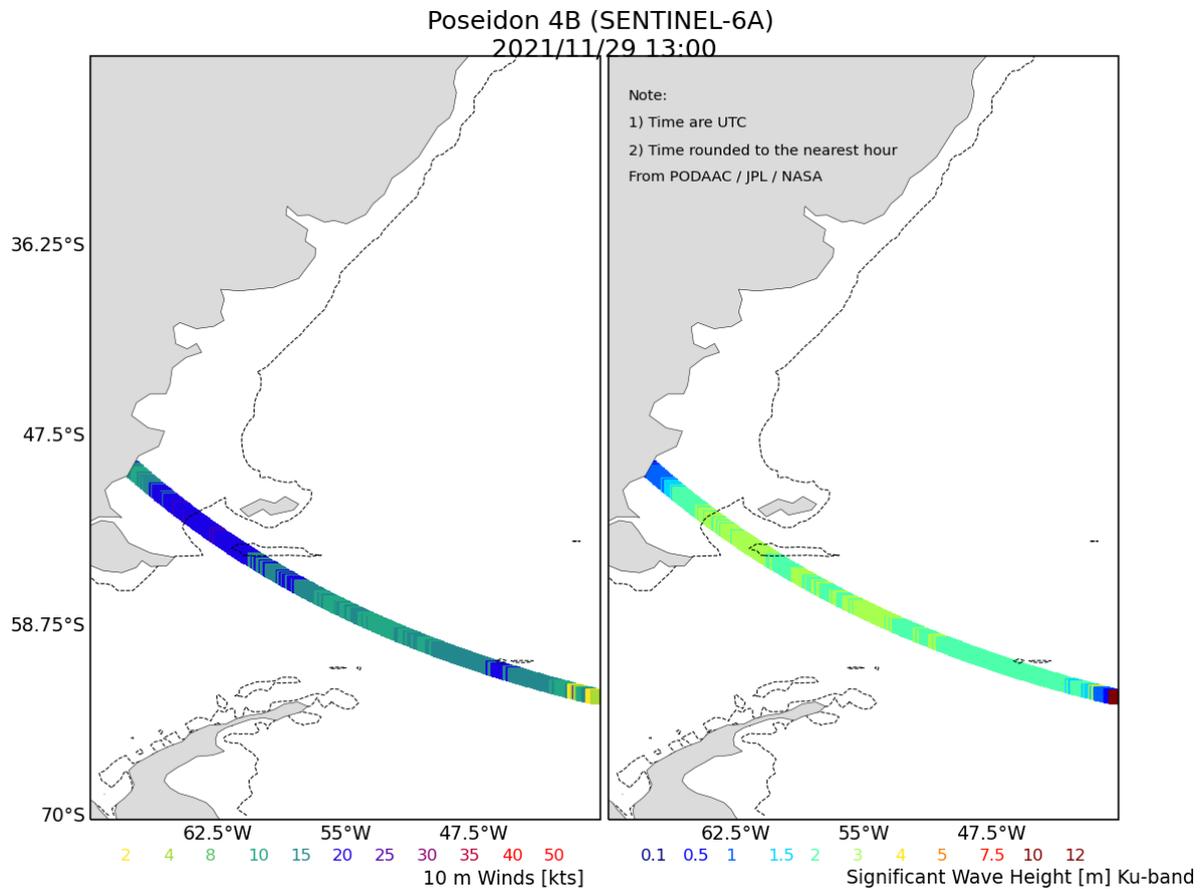


Fig. 5.8. Intensidad del viento en superficie (izq.) y altura significativa de la ola (der.) obtenida por Sentinel-6A para el día 2021/11/29 a las 13:00 UTC. La profundidad de 200 m se denota con la línea punteada.

A modo de ejemplo, se presenta la simulación por GLORYS de la anomalía de la altura del nivel del mar del sensor KaRIN para las 03:00 UTC del día 29 de noviembre de 2021 en sus dos formatos ssha_karin (Fig. 5.9, panel izquierdo) y ssha_karin_2 (Fig. 5.9, panel derecho). A pesar de que ambas variables no tienen diferencias ya que es el mismo producto simulado, nótese la amplitud de la pasada satelital que diferencia a KaRIN de los altímetros nadir-convencionales.

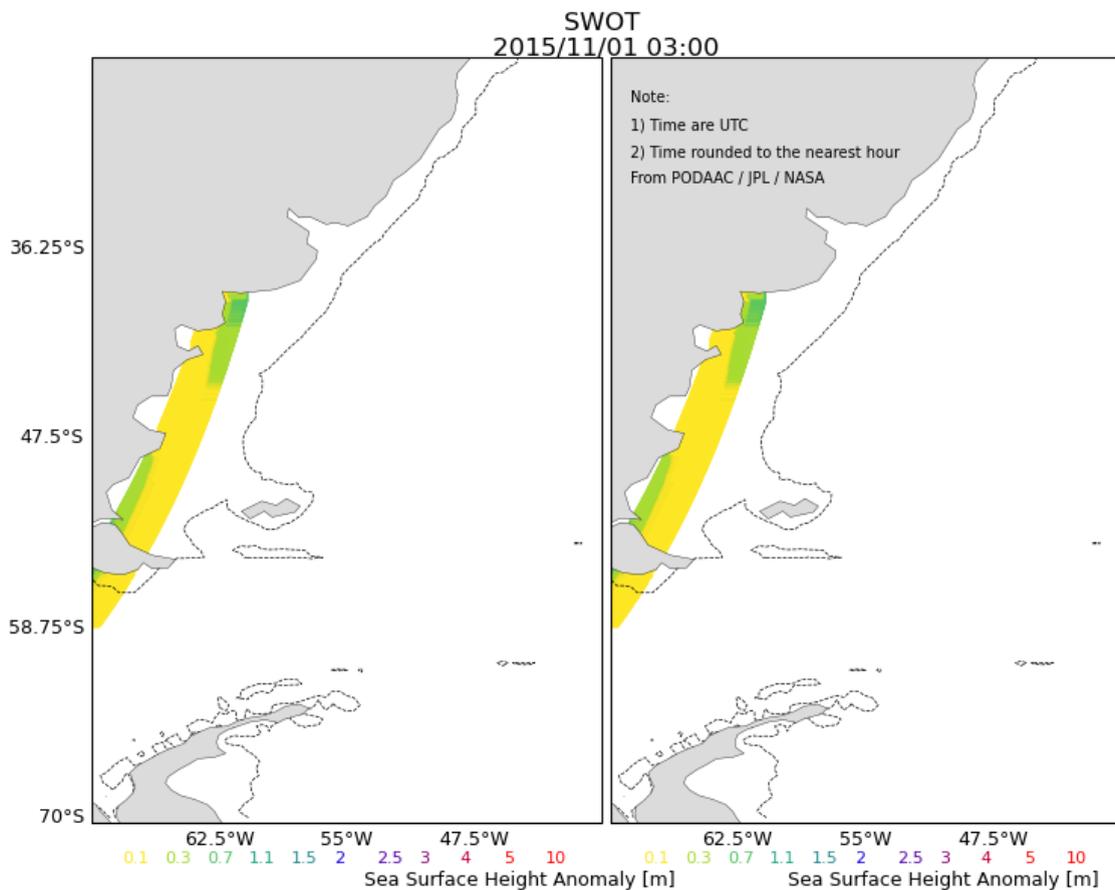


Fig. 5.9. Anomalía de altura de la superficie del mar considerando las correcciones del radiómetro (*ssha_karin*, panel izq.) y de modelos (*ssha_karin_2*, panel der.) obtenida por SWOT/GLORYS para las 03:00 UTC del 1 de noviembre de 2015. La profundidad de 200 m se denota con la línea punteada.

6. CONCLUSIONES

En esta Nota Técnica se recopiló información de las distintas misiones satelitales actuales con gran potencial de uso sobre la Plataforma Continental Argentina, delimitada por la isobata de 200 m, y el océano adyacente, con foco en tres variables de uso relevante en oceanografía y meteorología: el viento en superficie, la altura del nivel del mar y la altura significativa de la ola. Para ello, se clasificó y describió a los distintos tipos de sensores con los que estas variables son recuperadas a bordo de diferentes misiones satelitales. Se compilaron distintas plataformas web que permiten el acceso a información de estas variables en tiempo casi real. Y luego, se realizó una pequeña estadística y posterior descripción de los productos de sólo algunas de las bases de datos oceanográficos satelitales, las cuales están disponibles públicamente y son de relativamente fácil acceso para realizar una descarga. Se determinó que, pese a las distintas características orbitales de las misiones, la Plataforma Continental Argentina y el océano adyacente se encuentran frecuentemente monitoreados en NRT. De las misiones exploradas, sólo la misión SWOT todavía no ha entrado en el proceso de lanzamiento. A pesar de ello, se utilizó información simulada para comprender cómo la nueva tecnología interferométrica de amplio barrido puede ofrecer oportunidades únicas en la observación de la altura del nivel del mar sobre la Plataforma Continental Argentina y el océano

adyacente. En relación a esto, el trabajo de Fu y Ubelmann (2014) expone ideas claras acerca del progreso de los altímetros de amplio barrido frente a los nadir-convencionales. Las misiones estudiadas y las que todavía faltan analizar (Tabla I) ofrecen un reto en el manejo de la información y una ventaja al considerar que la Plataforma Continental Argentina y el océano adyacente actualmente carecen de observaciones in-situ.

REFERENCIAS

Ardhuin F., Stopa J. E., Chapron B., Collard F., Husson R., Jensen R. E., Johannessen J., Mouche A., Passaro M., Quartly G. D., Swail V. y Young I. (2019). Observing Sea States. *Front. Mar. Sci.* 6:124. doi: 10.3389/fmars.2019.00124.

Bamler, R. Principles Of Synthetic Aperture Radar (2000). *Surveys in Geophysics* **21**, 147–157. <https://doi.org/10.1023/A:1006790026612>.

Brown, S., Focardi, P., Kitiyakara, A., Maiwald, F., Milligan, L., Montes, O., Padmanabhan, S., Redick, R., Russel, D., Bach, V., Walkemeyer, P. The COWVR Mission: Demonstrating the capability of a new generation of small satellite weather sensors (2017). 1-7. 10.1109/AERO.2017.7943884.

Chen, J.-L.; Hsiao, Y.-J.; Yip, K.-K. Risk Management of Marine Capture Fisheries under Climate Change: Taking into Consideration the Effects of Uncertainty. *Sustainability* **13**, 3892 (2021). <https://doi.org/10.3390/su13073892>.

Clarizia, M. P., Gommenginger, C. P., Gleason, S. T., Srokosz, M. A., Galdi, C. y Di Bisceglie, M., Analysis of GNSS-R delay-Doppler maps from the UK-DMC satellite over the ocean (2009). *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L02608, doi:10.1029/2008GL036292.

Clarizia, M.P. & Ruf, C. S.. Wind Speed Retrieval Algorithm for the Cyclone Global Navigation Satellite System (CYGNSS) Mission (2016). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1-14. 10.1109/TGRS.2016.2541343.

Donlon, C., Cullen, R.; Giulicchi, L., Vuilleumier, P., Richard Francis, C, Kuschnerus, M., Simpson, W., Bouridah, A., Caleno, M., Bertoni, R., et al. The Copernicus Sentinel-6 mission: Enhanced continuity of satellite sea level measurements from space. *Remote Sens. Environ.* 2021, **258**, 112395.

Entekhabi D. et al.. The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission (2010). *Proceedings of the IEEE*, vol. 98, no. 5, pp. 704-716, doi: 10.1109/JPROC.2010.2043918.

ESA, The Nine Candidate Earth Explorer Missions - Atmospheric Dynamics Mission, Special report published by the European Space Agency, ESA SP-1196(4), ESTEC (2021), Noordwijk, Netherlands.

European Space Agency: ADM-Aeolus Science Report 2008. ESA SP-1311, 121 pp.

Farjami, H., Golubkina, P. y Chapron, B.. Impact of the sea state on altimeter measurements in coastal regions (2016). *Remote Sens. Lett.* **7**, 935–944. doi: 10.1080/2150704X.2016.1201224.

Forsythe, M.. Atmospheric motion vectors: past, present and future (2007). In *ECMWF Annual Seminar*.

Fu, L., D. Alsdorf, R. Morrow, E. Rodríguez y N. Mognard, Eds. SWOT: The Surface Water and Ocean Topography Mission: Wide-Swath Altimetric Measurement of Water Elevation on Earth (2012). JPL-Publication 12-05, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.

Fu, L. y Ubelmann, C., 2014: On the Transition from Profile Altimeter to Swath Altimeter for Observing Global Ocean Surface Topography, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 31(2), 560-568.

Gaiser P. W. et al., 2014: The WindSat spaceborne polarimetric microwave radiometer: sensor description and early orbit performance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 42, no. 11, pp. 2347-2361, doi: 10.1109/TGRS.2004.836867.

Gaultier, L., Ubelmann, C. y Fu, L., 2016: The Challenge of Using Future SWOT Data for Oceanic Field Reconstruction, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 33(1), 119-126.

Hauser, D., Tison, C., Amiot, T., Delaye, L., Corcoral, N., Castillan, P.. SWIM: The first spaceborne wave scatterometer (2017). *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 55, 3000–3014. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2658672>.

Hoffman, R. N. y Leidner, S. M.. An Introduction to the Near-Real-Time QuikSCAT Data (2005). *Weather and Forecasting*, 20(4), 476-493.

Hong, Sungwook y Shin, Inchul. Wind Speed Retrieval Based on Sea Surface Roughness Measurements from Spaceborne Microwave Radiometers. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52. 507-516, (2013). 10.1175/JAMC-D-11-0209.1.

IAT. Altimetry for the future: Building on 25 years of progress, *Advances in Space Research* (2021). Volume 68, Issue 2. Pages 319-363, ISSN 0273-1177. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.022>.

Jackson, F. C., Walton, W. T. y Peng, C. Y.. A comparison of in situ and airborne radar observations of ocean wave directionality (1985). *J. Geophys. Res.* 90, 1005–1018.

Jackson T. J. et al.. Polarimetric scanning radiometer C and X band microwave observations during SMEX03 (2004). *IGARSS, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 324, doi: 10.1109/IGARSS.2004.1369026.

Kallberg, P.. Aspects of the Re-analyzed Climate. *ECMWF Re-Analysis Project Report Series*, 2, (1997). ECMWF, Reading, UK, 89pp.

Katzberg, S. J., Dunion, J. y Ganoë, G. G. (2013), The use of reflected GPS signals to retrieve ocean surface wind speeds in tropical cyclones, *Radio Sci.*, 48, 371– 387, doi:10.1002/rds.20042.

Kudryavtsev, V., Yurovskaya, M., Chapron, B., Collard, F. y Donlon, C.. Sun glitter imagery of surface waves. part 1: directional spectrum retrieval and validation (2017). *J. Geophys. Res.* 122, 369–1383. doi: 10.1002/2016JC012425.

Lean, P., Migliorini, S. y Kelly, G.. Understanding Atmospheric Motion Vector Vertical Representativity Using a Simulation Study and First-Guess Departure Statistics (2015). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(12), 2479-2500.

- Lillibridge, J., Scharroo, R., Abdalla, S. y Vandemark, D.. One- and two-dimensional wind speed models for Ka-band altimetry (2014). *J. Atmos. Ocean Technol.* 31, 630–638. doi: 10.1175/JTECH-D-13-00167.1.
- Meissner, T., Ricciardulli, L. y Wentz, F. J.. All-weather wind vector measurements from intercalibrated active and passive microwave satellite sensors (2011). *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2011, pp. 1509-1511, doi: 10.1109/IGARSS.2011.6049354.
- Morrow, R., Blumstein, D., Dibarboure, G.. *New Frontiers in Operational Oceanography* (2018). *GODAE OceanView*, pp. 191–226. doi: 10.17125/gov2018 (chapter Fine-scale altimetry and the future SWOT mission).
- Morrow, R., Fu, L.L., Arduin, F., Benkiran, M., Chapron, B., Cosme, E., d'Ovidio, F., Farrar, J.T., Gille, S.T., Lapeyre, G., Le Traon, P.Y., Pascual, A., Ponte, A., Qiu, B., Rasclé, N., Ubelmann, C., Wang, J., Zaron, E.D.. Global observations of fine-scale ocean surface topography with the Surface Water and Ocean Topography (SWOT) mission (2019). *Front. Mar. Sci.* 6, 232. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00232>.
- Nieman, S. J., Menzei, W. P., Hayden, C. M., Gray, D., Wanzong, S. T., Velden, C. S. y Daniels, J.. Fully Automated Cloud-Drift Winds in NESDIS Operations (1997). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6), 1121-1134.
- Organización Meteorológica Mundial. Guía de servicios meteorológicos marinos. OMM-Nº 471 (2018), Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial. Guía para el análisis y pronóstico de las olas. OMM-Nº 702 (2018), Ginebra.
- Pascual, D., Clarizia, M. P., Ruf, C. S.. Improved CYGNSS Wind Speed Retrieval Using Significant Wave Height Correction. *Remote Sensing*. 2021; 13(21):4313. <https://doi.org/10.3390/rs13214313>.
- Passaro, M., Fenoglio-Marc, L. y Cipollini, P.. Validation of significant wave height from improved satellite altimetry in the German Bight (2015). *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 53, 2146–2156. doi: 10.1109/TGRS.2014.23 56331.
- Quartly, G.. Metocean comparisons of Jason-2 and AltiKa-A method to develop a new wind speed algorithm (2015). *Mar. Geod.* 38, 437–448. doi: 10.1080/01490419.2014.988834.
- Quilfen, Y., Tournadre, J. y Chapron, B.. Altimeter dual-frequency observations of surface winds, waves, and rain rate in tropical cyclone Isabel (2006). *J. Geophys. Res.* 111, C01004. doi: 10.1029/2005JC003068.
- Raney, R.. The delay Doppler radar altimeter (2008). *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 36, 1578-1588.
- Rasclé, N. y Arduin, F.. Drift and mixing under the ocean surface revisited: stratified conditions and model-data comparisons (2009). *J. Geophys. Res.* 114, C02016. doi: 10.1029/2007JC004466.
- Reitebuch, O.. The space-borne wind lidar mission ADM-Aeolus (2012). *Atmospheric Physics Background, Methods, Trends*. U. Schumann (Ed.) Springer Series on Research Topics in Aerospace, 815-827.
- Reitebuch, O.. Wind Lidar for Atmospheric Research. *Atmospheric Physics: Background - Methods - Trends* (2012). 487-. doi: 10.1007/978-3-642-30183-4_30.

- Ricciardulli L, Mears C, Manaster A, Meissner T. Assessment of CYGNSS Wind Speed Retrievals in Tropical Cyclones. *Remote Sensing*. 2021; 13(24):5110. <https://doi.org/10.3390/rs13245110>
- Rikka, S., Pleskachevsky, A., Jacobsen, S., Alari, V. y Uiboupin, R.. Meteo-marine parameters from Sentinel-1 SAR imagery: towards near real-time services for the baltic sea (2018). *Remote Sens*. 10, 757. doi: 10.3390/rs10050757.
- Rodriguez, D. M. y L. Vidal, 2021: Satélites Ambientales para el Monitoreo de Gases de Efecto Invernadero. Nota Técnica SMN 2021-92.
- Rodríguez, E. y Martin, J.M.. Theory and design of interferometric synthetic aperture radars (1992). *IEEE Proc.-F Radar and Signal Proc.*, 139(2), 147-159.
- Rodriguez, E. y Pollard, B.. The Measurement Capabilities of Wide-Swath Ocean Altimeters (2001). *HOTSWG Proceedings*.
- Ruf, C. S, Posselt, D., Majumdar, S., Gleason, S., Clarizia, M.P., Starkenburg, D., Provost, D., Zavorotny, V., Murray, J., Musko, S. Jelenak, Z., Chang, P., Morris, M.. (2016). *CYGNSS Handbook*.
- Ruf, C.S., Chew, C., Lang, T. et al. A New Paradigm in Earth Environmental Monitoring with the CYGNSS Small Satellite Constellation (2018). *Sci Rep* 8, 8782. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27127-4>.
- Sainsbury, N.C., Genner, M.J., Saville, G.R. et al. Changing storminess and global capture fisheries. *Nature Clim Change* 8, 655–659 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0206-x>.
- Scagliola, M. & Tagliani, N. y Fornari, M.. Measuring the effective along-track resolution of CryoSat (2013). *CryoSat Third User Workshop*.
- Scharroo, R., 2018. Sentinel-6 end-user requirements document, EUM/LEO-JASCS/REQ/12/0013, v3E available from EUMETSAT. Darmstadt, Germany.
- Simmons, A.J. y Hollingsworth, A.. Some aspects of the improvement in skill of numerical weather prediction. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, (2002). 128: 647-677. <https://doi.org/10.1256/003590002321042135>.
- Smith E. A. y Phillips D. R.. Automated Cloud Tracking Using Precisely Aligned Digital ATS Pictures (1972). *IEEE Transactions on Computers*, vol. C-21, no. 7, pp. 715-729, doi: 10.1109/T-C.1972.223574.
- Smith, W. H. F. y Scharroo, R.. Waveform aliasing in satellite radar altimetry (2015). *IEEE TGRS* 53, 1671–1682. doi: 10.1109/TGRS.2014.2331193.
- Stoffelen A.. Scatterometry Thesis, Univ. Utrecht. (1998). <http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/01840669/inhoud.htm>.
- Stoffelen, A., Marseille, G.J., Bouttier, F., Vasiljevic, D., de Haan, S. y Cardinali, C.. ADM-Aeolus Doppler wind lidar Observing System Simulation Experiment (2006). *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 132: 1927-1947. <https://doi.org/10.1256/qj.05.83>.
- Stopa, J. E. y Mouche, A.. Significant wave heights from Sentinel-1 SAR: Validation and applications (2017). *J. Geophys. Res. Oceans*, 122, 1827– 1848, doi:10.1002/2016JC012364.

- Tang W., Liu T. y Stiles B.. Evaluation of high-resolution ocean surface vector winds measured by QuikSCAT scatterometer in coastal regions (2004). *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 42, no. 8, pp. 1762–1769.
- Thibaut, P., Poisson, J. C, Bronner, E., Picot, N.. Relative Performance of the MLE3 and MLE4 Retracking Algorithms on Jason-2 Altimeter Waveforms (2010). *Marine Geodesy*. 33. 317-335. 10.1080/01490419.2010.491033.
- Tournadre, J., Poisson, J. C., Steunou, N. y Picard, B.. Validation of AltiKa matching pursuit rain flag (2015). *Mar. Geod.* 38, 107–1023. doi: 10.1080/01490419.2014.1001048.
- Verron, J., Bonnefond, P., Andersen, O., Arduin, F., Bergé-Nguyen, M., Bhowmick, S., Blumstein, D., Boy, F., Brodeau, L., Crétaux, J.F., Dabat, M.L., Dibarboue, G., Fleury, S., Garnier, F., Gourdeau, L., Marks, K., Queruel, N., Sandwell, D., Smith, W.H., Zaron, E.. The SARAL/AltiKa mission: A step forward to the future of altimetry (2021). *Adv. Space Res.* 68, 808–828.
- Villas Bôas Ana B., Arduin Fabrice, Ayet Alex, Bourassa Mark A., Brandt Peter, Chapron Bertrand, Cornuelle Bruce D., Farrar J. T., Fewings Melanie R., Fox-Kemper Baylor, Gille Sarah T., Gommenginger Christine, Heimbach Patrick, Hell Momme C., Li Qing, Mazloff Matthew R., Merrifield Sophia T., Mouche Alexis, Rio Marie H., Rodriguez Ernesto, Shutler Jamie D., Subramanian Aneesh C., Terrill Eric J., Tsamados Michel, Ubelmann Clement, van Sebille Erik. Integrated Observations of Global Surface Winds, Currents, and Waves: Requirements and Challenges for the Next Decade (2019). *Frontiers in Marine Science*, 6, 2296-7745.
- Wagner, Wolfgang & Hahn, Sebastian & Kidd, Richard & Melzer, Thomas & Bartalis, Zoltan & Hasenauer, Stefan & Figa-saldaña, J. & Rosnay, Patricia & Jann, Alexander & Schneider, Stefan & Komma, J. & Kubu, Gerhard & Brugger, Katharina & Aubrecht, Christoph & Züger, Johann & Gangkofner, Ute & Kienberger, Stefan & Brocca, Luca & Wang, Yong & Rubel, Franz. (2013). The ASCAT Soil Moisture Product: A Review of its Specifications, Validation Results, and Emerging Applications. *Meteorologische Zeitschrift*. 22. 5-33. 10.1127/0941-2948/2013/0399.
- Wentz, F. J.. Measurement of oceanic wind vector using satellite microwave radiometers (1992). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 30, no. 5, pp. 960-972, doi: 10.1109/36.175331.
- Wentz, F. J.. A well-calibrated ocean algorithm for special sensor microwave / imager (1997). *J. Geophys. Res.*, 102(C4), 8703– 8718, doi:10.1029/96JC01751.
- Witschas, B., Lemmerz, C., Geiß, A., Lux, O., Marksteiner, U., Rahm, S., Reitebuch, O. y Weiler, F.. First validation of Aeolus wind observations by airborne Doppler wind lidar measurements (2020). *Atmospheric Measurement Techniques*. 13. 2381-2396. 10.5194/amt-13-2381-2020.
- Yang, J. X., Mckague, D. S. y Ruf, C. S.. Land Contamination Correction for Passive Microwave Radiometer Data: Demonstration of Wind Retrieval in the Great Lakes Using SSM/I (2014). *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 31(10), 2094-2113.
- Zavorotny, Valery y Voronovich, A.G.. Scattering of GPS Signals from the Ocean with Wind Remote Sensing Application (2000). *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 38. 951 - 964. 10.1109/36.841977.

Zhou, X., Chong, J., Yang, X., Li, W. y Guo, X.. Ocean Surface Wind Retrieval Using SMAP L-Band SAR (2017).IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 10, no. 1, pp. 65-74, doi: 10.1109/JSTARS.2016.2630919.

Acrónimos

AMV	Atmospheric Motion Vector
SMAP	Soil Moisture Active Passive
DDMI	Delay Doppler Map Instrument
DWL	Doppler Wind Lidars
CYGNSS	Cyclone Global Navigation Satellite System
SWOT	Surface Water Ocean Topography
IAT	International Altimetry Team
SWL	Doppler Wind Lidar
ALADIN	Atmospheric Laser Doppler Instrument
ADM-Aeolus	Atmospheric Dynamics Mission-Aeolus
JPL	Jet Propulsion Laboratory
NASA	National Aeronautics and Space Administration
MetOp	Meteorological Operational satellite
ASCAT	Advanced SCATterometer
MEaSUREs	Making Earth Science Data Records for Use in Research Environments
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
OLCI	Ocean and Land Colour Instrument
SLSTR	Sea and Land Surface Temperature Radiometer
SRAL	SAR Radar Altimeter
EOSDIS	Earth Observing System Data and Information System
GIBS	Global Imagery Browse Services
SSMI	Special Sensor Microwave Imager
SSMIS	Special Sensor Microwave Imager Sounder
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
OSTM	Ocean Surface Topography Mission
OSWT	Ocean Surface Winds Team
STAR	Center for Satellite Applications and Research
NESDIS	National Environmental Satellite, Data, and Information Service
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
QuickSCAT	Quick Scatterometer

ERS-2	European Remote-Sensing satellite-2
RAR	Real Aperture Radar
SAR	Synthetic Aperture Radar
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CFOSAT	China-France Oceanography SATellite
SWIM	Surface Waves Investigation and Monitoring
SWOT	Surface Water and Ocean Topography
RFSCAT	Rotating Fan-beam SCATterometer
CNES	Centre National d'Études Spatiales
CNSA	China National Space Administration
HY	HaiYang satellite
RA	Radar Altimeter
NSOAS	National Satellite Ocean Application Service
CAST	China Academy of Space Technology
AMR	Advanced Microwave Radiometer
CS	Continuity of Service
EC	European Commission
ESA	European Space Agency
SARAL	Satellite with ARgos and ALtiKa
ALTIKA	Altimeter Ka-band
ISRO	Indian Space Research Organization
SIRAL	SAR Interferometric Radar Altimeter
PODAAC	Physical Oceanography Distributed Active Archive Center
NRT	Near Real Time
GPS	Global Positioning System
OGDR	Operation Geophysical Data Record
OMM	Organización Meteorológica Mundial
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer
GCOM-W1	Global Change Observation Mission - Water 1
ABI	Advanced Baseline Imager
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
MLE	Maximum Likelihood Estimator
MSI	Multi-Spectral Imager
COWVR	Compact Ocean Wind Vector Radiometer
ISS	International Space Station



UKSA	United Kingdom Space Agency
CSA	Canadian Space Agency
CLS	Collecte Localisation Satellites
STP-H8	Space Test Program - Houston 8
KaRIN	Ka-band Radar Interferometer
GMF	Geophysical Model Function
NBRCS	Normalized Bistatic Radar Cross Section +
LES	Leading Edge Slope
YSLF	Young Seas Limited Fetch

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).